

Sveučilište u Zagrebu  
**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

# **ZAVRŠNI RAD**

Matej Rešetar

Zagreb, 2010

Sveučilište u Zagrebu  
**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

# **ZAVRŠNI RAD**

Voditelj rada:  
Prof. dr. sc. Srećko Švaić

Matej Rešetar

Zagreb, 2010

## Izjava

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći navedenu literaturu i znanje koje sam stekao tijekom studiranja.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Srećku Švaiću na korisnim savjetima pri izradi rada.

U Zagrebu, lipanj 2010

Matej Rešetar

## Sažetak

Rad obuhvaća proračun i konstrukciju nadzemnog spremnika za ukapljeni naftni plin od čelika P 355 NL1 kapaciteta  $10\text{ m}^3$ . Spremnik je konstruiran prema normi HRN EN 12542 i u skladu sa Pravilnikom o tlačnoj opremi i Pravilnikom o ukapljenom naftnom plinu. Spremnik se sastoji od cilindričnog plašta i dvije duboke podnice te je oslonjen na 4 oslonca. Vanjski promjer spremnika je  $D_v = 1500\text{ mm}$ , maksimalni radni tlak u spremniku iznosi  $PS = 16,4\text{ bar}$ , ispitni tlak  $PT = 23,5\text{ bar}$  a najveća/najmanja dozvoljena temperatura  $TS = 40^\circ\text{C}/-20^\circ\text{C}$ . Napravljena je i provjera debljine stijenke u uvjetima vakuma i proračun uške za transport prema normi EN 13445-3.

U radu je izrađen i proračun debljine stijenke spremnika za UNP prema starim normama HRN M.E2.253, HRN M.E2.252 te njihova usporedba s normom HRN EN 12542 prema kojoj je spremnik konstruiran. Spremnik je svrstan u IV kategoriju posuda pod tlakom prema dijagramu 1. Dodatka II. Pravilnika o tlačnoj opremi te je izabran modul H1 modula za ocjenu sukladnosti. U prvom dijelu rada napravljena je podjela vrsta i klasa posuda pod tlakom prema starim normama HRN M.E2.150 i HRN M.E2.151 kako bi mogli napraviti pregled i usporedbu s usvojenom europskom direktivom za kategorizaciju posuda pod tlakom tj. Pravilnikom o tlačnoj opremi.

Opisan je postupak i procedura tlačne probe spremnika za UNP te upute za rad i korištenje. Osim nacrtu spremnika u Autocadu konstruirao sam i crteže u ProEngineeru kako bi imali i predodžbu 3D dimenzije spremnika i svakog njegovog dijela.

## Sadržaj

Popis slika	
Popis tablica	
Popis dijagrama	
Popis oznaka i mjernih jedinica fizikalnih veličina	
Uvod.....	1
1. Projektni zadatak.....	2
1.1. Tehnički opis.....	2
1.2. Osnovni parametri za proračun čvrstoće spremnika za UNP.....	4
1.2.1. Proračunska temperatura.....	4
1.2.2. Proračunski $P_d$ i i ispitni tlak $PT$ .....	4
1.2.3. Materijali gradnje.....	4
1.2.4. Proračunska čvrstoća.....	5
1.2.6. Dodaci.....	5
1.2.7. Koef.zavarenog spoj.....	5
2. Određivanje vrste i klase posude pod tlakom prema HRN M.E2.150 i HRN M.E2.151.....	6
2.1. Vrsta posude pod tlakom prema normi - HRN M.E2.150.....	6
2.2. Klasa posude pod tlakom prema normi - HRN M.E2.151.....	10
2.3. Određivanje vrste i klase posude pod tlakom spremnika za UNP $V=10\text{ m}^3$ .....	13
3. Klasa posude pod tlakom prema europskoj direktivi - Pravilniku o tlačnoj opremi.....	15
3.1. Tlačna oprema – direktiva 97/23/EC.....	15
3.2. Određivanje kategorije opreme pod tlakom spremnika za UNP $V=10\text{ m}^3$ .....	19
3.3. Izbor modula za ocjenu sukladnosti spremnika za UNP $V=10\text{ m}^3$ .....	20
4. Analiza rizika spremnika za UNP $V=10\text{ m}^3$ - prema Pravilniku o tlačnoj opremi.....	22
5. Proračun nadzemnog spremnika za UNP kapaciteta $10\text{ m}^3$ .....	24
5.1. Proračun debljine stijenke cilindričnog plašta prema normi HRN EN 12542.....	24
5.2. Proračun debljine stijenke podnica prema normi HRN EN 12542.....	25
5.3. Proračun debljine stijenke cilindričnog plašta prema normi HRN M.E2.253.....	28
5.4. Proračun debljine stijenke podnica prema normi HRN M.E2.252.....	29
5.5. Razmatranje odnosa normi HRN EN 12542 prema HRN M.E2.253 i HRN M.E2.252 za proračun debljine stijenke spremnika za UNP.....	32
5.6. Provjera debljine stijenke spremnika UNP-a u uvjetima vakuma.....	34
6. Proračun priključaka na stijenci plašta spremnika.....	38
6.1. Proračun priključka ventila za punjenje.....	41
6.2. Proračun priključka ventila za izuzimanje tekuće faze.....	43
6.3. Proračun priključka sigurnosnog ventila.....	45
6.4. Proračun priključka za mjerenje nivoa tekućine.....	47
6.5. Proračun priključka za čišćenje nečistoća.....	49
6.6. Proračun priključka za kombinirani ventil.....	51
7. Proračun težine spremnika i proračun maksimalnog volumena punjenja.....	53
7.1. Proračun težine spremnika.....	53
7.2. Proračun maksimalnog volumena punjenja.....	53
8. Proračun uške za transport.....	55
9. Proračun čvrstoće oslonaca spremnika.....	58
10. Tlačna proba nadzemnog spremnika za UNP kapaciteta $10\text{ m}^3$ .....	59
11. Upute za rad i korištenje.....	62
12. Crteži nadzemnog spremnika za UNP $V=10\text{ m}^3$ u programu ProEngineer.....	65
Zaključak.....	74
Popis literature.....	75

## Popis slika

Slika 1. Spremnik za UNP

Slika 2. Shema modula za ocjenu sukladnosti

Slika 3. Ispupčena puna podnica

Slika 4. Podnica s različitim debljinama stijenke torusnog i cilindričnog dijela

Slika 5. Blok shema spremnika za UNP volumena  $10\text{ m}^3$ , Đuro Đaković- Zavarene posude

Slika 6. Prikaz -  $L$  - neoslonjene duljine spremnika i  $L_{\text{cyl}}$  – duljina cilindričnog dijela

Slika 7. Ojačanje umetcima

Slika 8. Ojačanje umetcima-poprečni presjek

Slika 9. Ojačanje ogrankom

Slika 10. Uzdužna uška za transport

## Popis tablica

Tablica 1. Određivanje projektne klase posude

Tablica 2. Stanje i karakteristike radnog medija

Tablica 3. Tablica modula za ocjenu sukladnosti

Tablica 4. Usporedba debljine stijenke cilindričnog plašta prema normi HRN EN 12542 i normi HRN M.E2.253 za UNP kapaciteta  $10\text{ m}^3$

Tablica 5. Usporedba debljine stijenke podnice prema normi HRN EN 12542 i normi HRN M.E2.252 za UNP kapaciteta  $10\text{ m}^3$

Tablica 6. Tablica iz točke 8.5 norme prEN 13445-3:1999

## Popis dijagrama

Dijagram 1. Posude za plinove grupe 1

Dijagram 2. Posude za plinove grupe 2

Dijagram 3. Posude za kapljevine grupe 1

Dijagram 4. Posude za kapljevine grupe 2

Dijagram 5. Kotlovi

Dijagram 6. Cjevovodi za plinove grupe 1

Dijagram 7. Cjevovodi za plinove grupe 2

Dijagram 8. Cjevovodi za kapljevine grupe

Dijagram 9. Cjevovodi za kapljevine grupe 2

Dijagram 10. Proračunski koeficijent  $\beta$  za duboke podnice

Dijagram 11. Određivanje tlaka ulubljivanja

Dijagram 12. Dijagram iz točke 8.5 norme prEN 13445-3:1999

Dijagram 13. Dijagram iz točke 8.5 norme prEN 13445-3:1999

## Popis oznaka

### Latinične oznake

$A_{fb}$  [mm<sup>2</sup>] - Poprečni presjek kompenzacijske površine ogranka  
 $A_{fm}$  [mm<sup>2</sup>] - Poprečni presjek kompenzacijske površine osnovnog dijela  
 $A_{fp}$  [mm<sup>2</sup>] - Poprečni presjek kompenzacijske površine umetka  
 $A_p$  [mm<sup>2</sup>] - Tlakom opterećena površina  
 $a_1$  [mm] - ekscentricitet opterećenja  
 $a_2$  [mm] - udaljenost opterećenja od plašta  
 $b_1$  [mm] - duljina uške za transport na spoju s plaštom  
 $C$  - pomoćna vrijednost  
 $c_1$  [mm] - dodatak za odstupanje materijala  
 $c_2$  [mm] - dodatak za koroziju  
 $D_{eq}$  [mm] - ekvivalentni proračunski promjer  
 $D_0$  [mm] - vanjski promjer tlačnog spremnika  
 $D_i$  [mm] - unutarnji promjer podnice  
 $E$  [N/mm<sup>2</sup>] - modul elastičnosti čelika  
 $d_i$  [mm] - unutarnji promjer priključka  
 $d_{ob}$  [mm] - vanjski promjer priključka  
 $e$  [mm] - debljina stijenke uključujući dodatke  
 $e_b$  [mm] - minimalna debljina stijenke zakrivljenja radi izbjegavanja deformacije  
 $e_m$  [mm] - stvarna debljina osnovnog dijela  
 $e_{min}$  [mm] - minimalna debljina stijenke  
 $e_n$  [mm] - usvojena debljina stijenke  
 $e_p$  [mm] - debljina umetka  
 $e_s$  [mm] - minimalna debljina stijenke podnice na granično naprezanje stijenke u centralnim dijelu  
 $e_y$  [mm] - minimalna debljina stijenke podnice na zakrivljenom dijelu  
 $F_L$  [N] - lokalna sila na plaštu  
 $F_{L,max}$  [N] - maksimalna dopuštena sila na plaštu  
 $f$  [N/mm<sup>2</sup>] - nominalno projektno naprezanje u osnovnom dijelu  
 $f_b$  [N/mm<sup>2</sup>] - nominalno projektno naprezanje ogranka  
 $g_t$  - relativna gustoća na najnižoj temperaturi punjenja  
 $g_i$  - relativna gustoća punjenja na referentnoj temperaturi  
 $h_1$  – visina cilindričnog dijela podnice  
 $h_2$  – visina ispupčenog dijela podnice  
 $K$  [N/mm<sup>2</sup>] – proračunska čvrstoća  
 $K_1$  – pomoćna veličina  
 $K_2$  – pomoćna veličina  
 $K_{13}$  – pomoćna veličina  
 $K_{14}$  – pomoćna veličina  
 $L$  [mm] – neoslonjena duljina spremnika  
 $L_{cyl}$  [mm] – duljina cilindričnog dijela  
 $l_b$  [mm] - vanjska debljina ogranka koja se smatra efektivnom kompenzacijom mjerena od vanjskog dijela stijenke osnovnog materijala  
 $l_{bi}$  [mm] - veličina duljine upuštanja ogranka unutar plašta, koja se smatra efektivnom kompenzacijom, mjerena od unutarnjeg dijela stijenke osnovnog materijala  
 $l_m$  [mm] - duljina ojačanja osnovnog dijela, podrazumijevana kao efektivna kompenzacija, mjerena od ruba otvora ili vanjske stijenke ogranka

$l_p$  [mm] - maksimalna duljina umetka, podrazumijevana kao efektivna kompenzacija, mjerena preko umetka  
 $N$  - pomoćna veličina  
 $n_{cyl}$  – pomoćna vrijednost određena iz dijagrama 8.5-4 točke 8.5 norme prEN 13445-3  
 $p$  [MPa] - projektni tlak  
 $p_m$  [MPa] - teoretska elastična nestabilnost koja uzrokuje lom savršenog cilindričnog plašta  
 $p_b$  [MPa] - tlak ulubljivanja  
 $p_r$  [MPa] - izračunata donja granica tlaka loma  
 $p_y$  [MPa] - tlak kod kojeg prosječno obodno naprezanje na cilindričnom plaštu postiže točku popuštanja  
 $R$  [mm] - polumjer cilindričnog plašta  
 $R$  [mm] - unutarnji polumjer zakrivljenosti središnjeg dijela torisferične podnice  
 $R$  [mm] - radijus kalote  
 $R_{eH}$  [MPa] - gornja granica tečenja  
 $R_m$  [MPa] - granica razvlačenja  
 $r$  [mm] - unutarnji radijus zakrivljenja  
 $r$  [mm] - radijus torusa  
 $r_{im}$  [mm] - unutarnji polumjer plašta  
 $S$  - stupanj sigurnosti  
 $S$  [N/mm<sup>2</sup>] - nominalno granično naprezanje materijala spremnika  
 $s_e$  [mm] - odabrana debljina stijenke plašta  
 $s_k$  [mm] – debljina stijenke kalote uključujući dodatke  
 $s_{min}$  [mm] - debljina stijenke plašta izvrnuta djelovanju tlaka  
 $s_t$  [mm] - debljina stijenke torusa  
 $U_{max}$  - maksimalni dozvoljeni volumen  
 $W$  [N] - ukupna težina posude  
 $X$  - pomoćna vrijednost  
 $Y$  - pomoćna vrijednost  
 $z$  - koeficijent zavora

#### Grčke oznake

$\beta$  - kut između smjera sile i normale na plašt  
 $\beta$  – koeficijent podnice  
 $\epsilon$  - prosječna elastična obodna napetost kod popuštanja  
 $\lambda$  - pomoćna vrijednost  
 $\sigma_{b,all}$  [MPa] - dozvoljeno savijanje plašta  
 $\nu$  - Poissonov koeficijent  
 $\nu_1$  - omjer lokalnog membranskog naprezanja i savijanja  
 $\nu_2$  - omjer ukupnog membranskog naprezanja i dozvoljenog savijanja



## Uvod

Ukapljeni naftni plin (engleski:LPG,Liquefied Petroleum Gas,njemački:Flussiggas) je smjesa zasićenih ugljikovodika propana i butana kao i raznih primjesa najviše propena,butena,etana i etena u različitim odnosima. Pojavljuje se pod tim imenom zato što se već pod relativno malim tlakom pretvara u tekuće stanje.Proizvodi se iz nafte rafinerijskom preradom ili pri obradi sirovog prirodnog plina.Ukapljivanjem volumen mu se smanjuje 300 puta.Ukapljivanje na temp.  $-42,6^{\circ}\text{C}$  pri atmosferskom tlaku.

Daljnja manipulacija,skladištenje i transport, obavlja se kod tih plinova kao i kod tekućina, a u plinovito stanje se pretvaraju neposredno prije korištenja. Najčešće se koristi u domaćinstvima kao gorivo u sustavima grijanja i pripreme potrošne tople vode, za pripremu hrane ali se upotrebljava i u zanatstvu,maloj privredi,poljoprivredi,ugostiteljstvu i građevinarstvu kao i za pogon motornih vozila.Neutrovan je,bez boje i mirisa pa mu se kao i kod prirodnog plina dodaje odorant.Teži je od zraka pa se skuplja pri podu prostorije i vrlo lako taloži u podrumima,raznim oknima i sl..

Spremnik za ukapljeni naftni plin UNP koristi se za skladištenje smjese propan-butana na lokaciji potrošnje gdje se dovozi kamion-cisternom. Spremnik volumena  $10\text{ m}^3$  je cilindrični sa podnicama,vanjskog promjera  $D_v=1500\text{ mm}$ , izveden iz čeličnog lima P 355 NL1, smješten nadzemno, horizontalne izvedbe. Za spremnik se izrađuju i oslonci koji leže na temeljima (beton), te sidrenim vijcima povezani sa podlogom. Na osloncima spremnika postoje spojnice za spajanje trake za uzemljenje, čiji se otpor mora prethodno ispitati od strane nadležnog tijela. Priključci koji služe za prolaz plina moraju biti opremljeni ventilima koji sprečavaju isticanje medija u slučaju puknuća cijevi između kotlovnice i spremnika ili cijevi za međusobnu vezu spremnika.

## 1. Projektni zadatak

Potrebno je konstruirati stabilni čelični nadzemni spremnik za ukapljeni naftni plin, kapaciteta  $10\text{ m}^3$ . Maksimalni radni tlak u spremniku iznosi  $PS=16,4\text{ bar}$ , minimalni tlak iznosi  $0,1\text{ bar}$  apsolutno. Maksimalna odnosno minimalna radna temperatura spremnika iznosi  $TS=40^\circ\text{C}/-20^\circ\text{C}$ .

### 1.1 Tehnički opis

➤ Projektni podaci:

- Maksimalni radni tlak  $PS=16,4\text{ bar}$
- Proračunski tlak  $Pd=16,4\text{ bar}$
- Ispitni tlak  $PT=23,5\text{ bar}$
- Najveća/najmanja dozvoljena temperatura  $TS=40^\circ\text{C}/-20^\circ\text{C}$
- Radni medij: UNP-propan butan
- Ispitno sredstvo: voda

➤ Karakteristike tlačne posude:

- Volumen spremnika  $V=10\text{ m}^3$
- Tip posude: horizontalna cilindrična tlačna posuda
- Ugradnja: nadzemna
- Vanjski promjer plašta spremnika  $D_v=1500\text{ mm}$
- Duljina cilindričnog plašta:  $L_{cil} = 5300\text{ mm}$
- Ukupna duljina spremnika:  $L_{ukup} = 6170\text{ mm}$
- Debljina stijenke plašta:  $e_n = 7\text{ mm}$
- Podnica: 2 duboke,  $h_1 = 50\text{ mm}$ ,  $h_2 = 378\text{ mm}$
- Debljina stijenke podnice:  $e_n = 7\text{ mm}$
- Oslanjanje posude: 4 oslonca
- Kategorija tlačne posude: IV( Dodatak II. Pravilnika o tlačnoj opremi.)
- Dodatak na koroziju: NE(za UNP koji odgovara zahtjevima norme ISO 9162“)
- Volumen punjenja UNP:  $U_{max} = 8426\text{ l}$

➤ Priključci na spremniku :

- P1 – Priključak ventila za punjenje
- P2 – Priključak za izuzimanje tekuće faze
- P3 – Priključak za sigurnosni ventil
- P4 – Priključak za mjerač nivoa tekućine
- P5 – Priključak za čišćenje nečistoća
- P6 – Priključak za kombinirani ventil

➤ Propisi za projektiranje:

- Proračun i konstrukcija spremnika i priključaka provodi se prema normi HRN EN 12542:2002.
- Pravilnik o tlačnoj opremi// Narodne novine.br.158/2003
- Pravilnik o ukapljenom naftnom plinu// Narodne novine.br.117/2007
- Proračun nosive uške za transport i provjera debljine stijenke spremnika u uvjetima vakuma provodi se prema EN 13445-3:1999



Slika 1.Spremnik za UNP

## 1.2 Osnovni parametri za proračun čvrstoće spremnika za UNP

### 1.2.1 Proračunska temperatura

Maksimalno postiziva temperatura medija kojim se puni spremnik definirana je:

- $50^{\circ}\text{C}$  za nadzemne spremnike bez posebne zaštite od porasta temperature.
- $40^{\circ}\text{C}$  za nadzemne spremnike postavljene u zatvorenim prostorijama ili s posebnom zaštitom od porasta temperature (svijetli vanjski premaz spremnika smatra se dovoljnom posebnom zaštitom)

Prema točki 5.2 norme HRN EN 12542:2002 proračunska temperatura se kreće u rasponu od  $-20^{\circ}\text{C}$  do  $40^{\circ}\text{C}$ . Ukoliko je medij održavan na nižoj ili višoj temperaturi od navedenih ista se smatra referentnom za određivanje proračunskog tlaka.

### 1.2.2 Proračunski $P_d$ i ispitni tlak $P_T$

Proračunski tlak je nadtlak definiran za pojedinu klimatsku zonu. Proračunski tlak spremnika  $P_d$  prema točki 5.3 norme HRN EN 12542:2002 ne smije biti manji od maksimalno dozvoljenog tlaka koji se javlja u eksploataciji spremnika  $P_S$ , a određuje se prema Aneksu A i iznosi  $P_S=16,4\text{bar}$ . Proračunski tlak odabire na temelju uvjeta koji nastaju kod punjenja spremnika. Kako kaže norma, sigurna granica punjenja je odgovarajuća referentna temperatura za pojedinu klimatsku zonu (vidi tablice A1, A2 i A3 norme). Osim o odabranoj klimatskoj zoni proračunski tlak je funkcija indeksa refleksije boje korištene za vanjsku zaštitu spremnika (vidi tablicu H1. norme).

Prema točki 9.8.1 norme HRN EN 12542:2002 ispitni tlak  $P_T$  ne smije biti manji od 1,43 puta projektni tlak.

➤ Spremnici volumena  $\geq 7\text{ m}^3$

- $P_d=16,4\text{ bar}$ , proračunski tlak (minimalno)
- $P_T=23,5\text{ bar}$ , ispitni tlak (minimalno)
- $TS= -20/40^{\circ}\text{C}$  i  $P_S=16,4\text{ bar}$
- Indeks refleksije vanjskog premaza 1 ili 2
- Referentna temperatura punjenja mjerodavna za količinu punjenja  $t_R=40^{\circ}\text{C}$
- Klimatska zona IV

Kod UNP spremnika  $P_S=f(TS)$  to za određenu temperaturu zasićenja postoji točno definiran tlak zasićenja.

### 1.2.3 Materijali gradnje

Za izradu spremnika koristi se čelik P 355 NL 1 koji je u skladu s normom EN 10028-3. Znači od čelika P 355 NL 1 izrađuju se cilindrični plašt, podnice, priključci, nosiva uška za transport spremnika i sedlasti oslonci spremnika. Zaštitna kapa će biti napravljena od polietilena, a natpisna pločica aluminija.

➤ Mehanička svojstva P 355 NL 1:

- Vlačna čvrstoća:  $R_m[\text{Mpa}]=490 \text{ N/mm}^2$
- Granica razvlačenja  $R_{eh}[\text{Mpa}]=355 \text{ N/mm}^2 \rightarrow (R_m, R_{eh})$  – za čelik P 355 NL1 – oznaka po EN 10028 „univerzalni“ skladišni program-mehaničke osobine.)

#### 1.2.4 Proračunska čvrstoća

Proračunska čvrstoća određena je prema točki 5.1 Aneksa E norme HRN EN 12542:2002. Određena je prema sljedećim izrazima:

Nominalno projektno naprezanje računa se prema formuli:

$$f = \min\left(\frac{R_{eh}}{1,5}; \frac{R_m}{2,4}\right)$$

$$f = \min\left(\frac{355}{1,5} = 236,67 \text{ N/mm}^2; \frac{490}{2,4} = 204,17 \text{ N/mm}^2\right)$$

$$f = 204,17 \text{ N/mm}^2$$

#### 1.2.5 Dodaci

Norma HRN EN 12542 ne sadrži  $c_2$  dodatak debljine stijenke zbog korozivnog djelovanja radnog medija te spremnik mora sadržavati natpis “Samo za ukapljeni naftni plin koji odgovara zahtjevima norme ISO 9162”. Dodatak  $c_1 = 0,3 \text{ mm}$  za dopušteno odstupanje dimenzija materijala.

Najmanja debljina stijenke ne smije biti manja od potrebne debljine utvrđene proračunom. U pojedinačnim standardima za proračun dijelova pod tlakom utvrđuje se najmanja debljina stijenke. Najmanja potrebna debljina stijenke ne predstavlja debljinu materijala za izradu dijela.

#### 1.2.6 Koeficijent zavarenog spoja

Koeficijent zavarenog spoja ili koeficijent oslabljenja obuhvaća slabljenje osnovnog materijala - konstrukcije posude, koje nastaje uslijed spajanja elemenata (zavarivanje, lemljenje, i sl.) U pojedinačnim standardima, za svaki konkretan slučaj dane su vrijednosti koeficijenta zavarenog spoja ili koeficijenta oslabljenja.

- $z=1$  – koeficijent zavarenog spoja

## 2. Određivanje vrste i klase posude pod tlakom prema HRN M.E2.150,HRN M.E2.151

### 2.1 Vrsta posude pod tlakom prema normi - HRN M.E2.150

2.1.1. Podjela posuda prema fizikalno-geometrijskim karakteristikama posude

2.1.2 Podjela prema karakteristikama radne tvari

2.1.3. Podjela prema izvedbi

2.1.4. Podjela prema namjeni

2.1.1. Podjela posuda prema fizikalno-geometrijskim karakteristikama posude:

➤ Volumen ( $V$ )

• mali	do $1.5 \text{ m}^3$
• srednji	iznad $1.5 \text{ m}^3$ do $15 \text{ m}^3$
• veliki	iznad $15 \text{ m}^3$ do $150 \text{ m}^3$
• vrlo veliki	preko $150 \text{ m}^3$

➤ Debljina stjenke ( $s$ )

• tanka	do 6 mm
• srednja	iznad 6 do 30 mm
• debela	iznad 30 do 100 mm
• vrlo debela	iznad 100 mm

➤ Masa ( $m$ )

• mala	do 0.5 t
• srednja	iznad 0.5 do 5 t
• velika	iznad 5 do 50 t
• vrlo velika	iznad 50 t

2.1.2. Podjela prema karakteristikama radne tvari:

➤ Tlak radne tvari ( $p$ )

• nizak	do 4 bara
• srednji	iznad 4 do 25 bara
• visok	iznad 25 do 80 bara
• vrlo visok	iznad 80 do 200 bara
• ultravisok	iznad 200 bara

➤ Temperatura radne tvari ( $t$ )

• vrlo niska	ispod -60°C
• niska	iznad 60 do 0°C
• umjerena	iznad 0 do 120°C
• visoka	iznad 120 do 400°C
• vrlo visoka	Iznad 400°C

➤ Akumulirana energija ( $p \cdot V_g$ )

• vrlo mala	do $0.3 \text{ bar} \cdot \text{m}^3$
• mala	iznad $0.3$ do $4 \text{ bar} \cdot \text{m}^3$
• srednja	iznad $4$ do $80 \text{ bar} \cdot \text{m}^3$
• velika	iznad $80$ do $1600 \text{ bar} \cdot \text{m}^3$
• vrlo velika	iznad $1600$ do $31500 \text{ bar} \cdot \text{m}^3$
• ultravelika	iznad $31500 \text{ bar} \cdot \text{m}^3$

➤ Agregatno stanje radne tvari

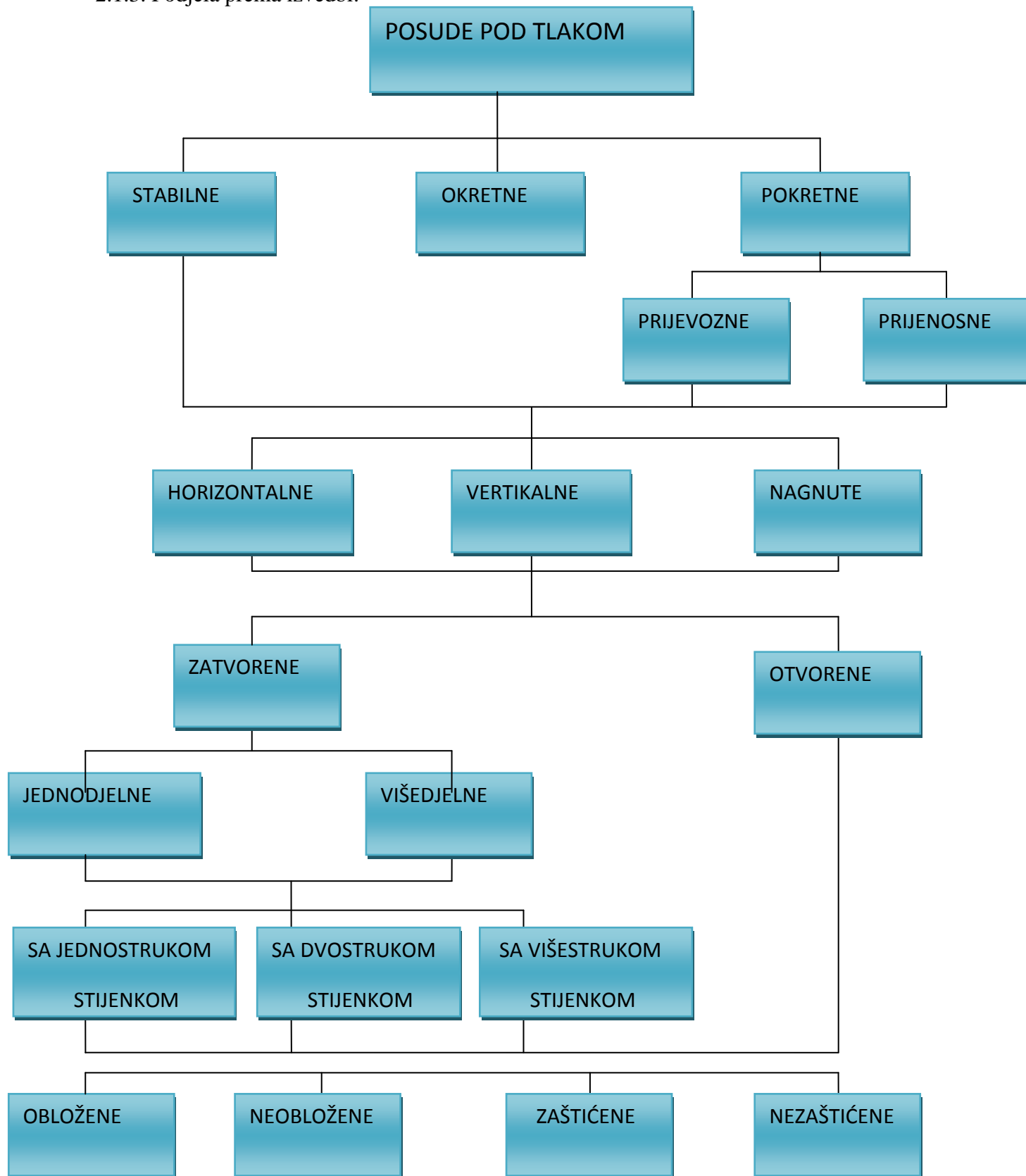
• tekućina
• plin, para
• višefazno stanje

➤ Fizikalno-kemijske karakteristike radne tvari

• neutralna
• agresivna
• zapaljiva
• eksplozivna
• otrovna
• radioaktivna



### 2.1.3. Podjela prema izvedbi:



#### 2.1.4. Podjela prema namjeni:

- skladištenje
- transport
- energetska postrojenja
- tehnološko-procesna postrojenja
- snabdijevanje radnom i zaštitnom tvari
- različite namjene-domaćinstvo, medicina, sport i dr.

## 2.2 Klasa posude pod tlakom prema normi – HRN M.E2.151.

Projektna klasa- zahtijevani nivo pouzdanosti.

Izvedena klasa- ostvareni nivo pouzdanosti poslije izrade i montaže, a prije eksploatacije .

Trenutna klasa- trenutni nivo pouzdanosti u bilo kojem trenutku.

Utjecajni faktori:

#### 2.2.1. Opći faktori:

- tlak
- volumen posude
- akumulirana energija
- temperatura
- djelovanje radne tvari na okolinu

#### 2.2.2. Lokacijski faktori:

- opasnost za ljude
- ekonomska opasnost
- ekološka opasnost

### 2.2.1. Opći faktori:

#### ➤ Tlak radne tvari ( $p$ )

Bodovi

• nizak	do 4 bara	0
• srednji	iznad 4 do 25 bara	1
• visok	iznad 25 do 80 bara	2
• vrlo visok	iznad 80 do 200 bara	3
• ultravisok	iznad 200 bara	4

#### ➤ Volumen posude ( $V$ )

Bodovi

• mali	do 1.5 m <sup>3</sup>	0
• srednji	iznad 1.5 m <sup>3</sup> do 15 m <sup>3</sup>	1
• veliki	iznad 15 m <sup>3</sup> do 150 m <sup>3</sup>	2
• vrlo veliki	preko 150 m <sup>3</sup>	3

#### ➤ Akumulirana energija ( $p \cdot V_g$ )

Bodovi

• vrlo mala	do 0.3 bar·m <sup>3</sup>	0
• mala	iznad 0.3 do 4 bar·m <sup>3</sup>	1
• srednja	iznad 4 do 80 bar·m <sup>3</sup>	2
• velika	iznad 80 do 1600 bar·m <sup>3</sup>	3
• vrlo velika	iznad 1600 do 31500 bar·m <sup>3</sup>	4
• ultravelika	iznad 31500 bar·m <sup>3</sup>	5

➤ Temperatura radne tvari (*t*)

Bodovi

• vrlo niska	ispod -60°C	2
• niska	iznad 60 do 0°C	1
• umjerena	iznad 0 do 120°C	0
• visoka	iznad 120 do 400°C	1
• vrlo visoka	Iznad 400°C	2

➤ Djelovanje radne tvari na okolinu

Bodovi

Neutralna ( <i>pH</i> =6 do 8)	0
agresivna	1
zapaljiva	1 do 3
eksplozivna	2 do 5
otrovna	2 do 5
radioaktivna	2 do 6
moгуće kombinacije	2 do 6

Određivanje projektne klase posude prema tablici :

Tablica 1.Određivanje projektne klase posude

Ukupan broj bodova	KLASA	
	Bez lokacijskih faktora	S lokacijskim faktorima
iznad 15	I	I
iznad 10 do 15	II	I
iznad 5 do 10	III	II (I)
do 5	IV	III(II,I)

Klase posude pod tlakom:

I KLASA - glavne posude u nuklearnim postrojenjima, posude s jako otrovnom radnom tvari, veće posude s otrovnom, eksplozivnom i zapaljivom radnom tvari.

II KLASA - veoma važne i veće posude u procesnim postrojenjima: reaktori, kolone, izmjenjivači, velike posude pod tlakom, veliki i srednji parni kotlovi.

III KLASA - važne posude u procesnim postrojenjima: izmjenjivači, kolone, srednje posude, manji parni kotlovi.

IV KLASA – manje posude s neutralnom radnom tvari.

## 2.3 Određivanje vrste i klase posude pod tlakom spremnika za UNP $V=10\text{ m}^3$

### 2.3.1 Vrsta posude:

Podjela prema fizikalno-geometrijskim karakteristikama posude:

- volumen posude:  $V=10\text{ m}^3$ , srednji
- debljina stijenke:  $s = 7\text{ mm}$ , srednja
- mase posude:  $m = 2500\text{ kg}$ , srednja

Podjela prema karakteristikama radne tvari:

- tlak radne tvari:  $p = 16,4\text{ bar}$ , srednji
- temperatura radne tvari:  $t = 40^\circ\text{C}$ ; umjerena
- akumulirana energija:  $p \cdot V = 164\text{ bar m}^3$ , velika
- agregatno stanje radne tvari: tekuće
- fizikalno – kemijske karakteristike: eksplozivan, zapaljiv

Podjela prema izvedbi:

- posuda pod tlakom
- prijenosna
- horizontalna
- zatvorena
- višedjelna s jednostrukom stijenkom
- nezaštićena
- material: čelik

Podjela prema namjeni:

- za skladištenje i pripremu plina kao pogonskog goriva

2.3.2 Klasa posude:

Opći(utjecajni)faktori:

- tlak radne tvari:  $p = 16,4$  bar ,srednji -1 bod
- volumen posude:  $V=10\text{ m}^3$ ,srednji -1 bod
- akumulirana energija :  $p \cdot V=164$  bar  $\text{m}^3$  ,velika -3 boda
- temperatura radne tvari:  $t = 40^\circ\text{C}$  ,umjerena -0 bodova
- djelovanje radne tvari na okolinu :zapaljiva i eksplozivna- 5 bodova

Ukupan broj bodova nadzemnog spremnika za UNP kapaciteta  $10\text{ m}^3$  i ostalih poznatih parametara iznosi 10 bodova što posudu svrstava u projektnu KLASU II .

### 3. Klasa posude pod tlakom prema europskoj direktivi –Pravilnik o tlačnoj opremi

Kategorija opreme pod tlakom određuje se prema dodatku II – dijagrami za ocjenu sukladnosti pravilnika o tlačnoj opremi

#### 3.1 Tlačna oprema (PED-Pressure Equipment Directive) - direktiva 97/23/EC

##### -Pravilnik o tlačnoj opremi, (NN.135/05 i 126/08)

Uključena oprema: tlačna oprema i pribor maksimalnog dozvoljenog radnog pretlaka  $> 0.5$  bara; posude, kotlovi, cijevi, sigurnosna oprema, ostala tlačna oprema, komponente i pribor.

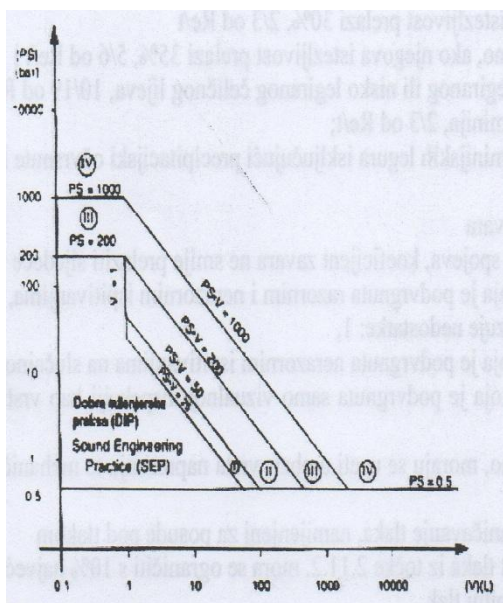
Tlačna oprema – 4 klase tlačne opreme.

Klasa se određuje na osnovi:

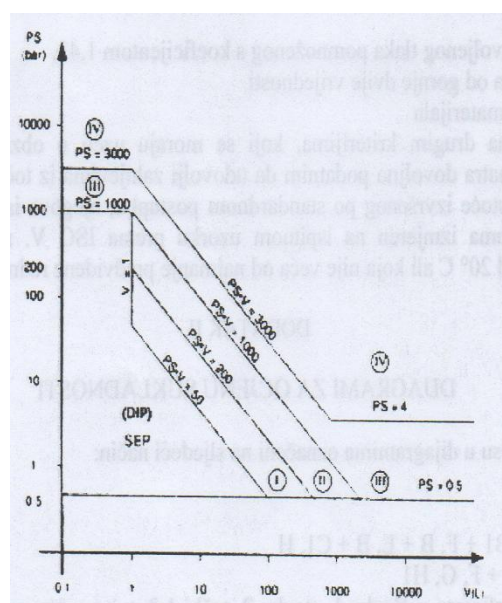
- vrste tlačne opreme
- karakteristike radnog medija
  - Grupa 1 : eksplozivni, zapaljivi, toksični, oksidirajući
  - Grupa 2 : svi drugi uključujući vodenu paru
- volumena  $V(L)$  i radnog tlaka  $PS$  (bara)
- akumulirane energije  $PS \cdot V$  u (bar · litra)
- pomoću dijagrama danih u smjernici - 97/23/EC tj. dodatku II – dijagrami za ocjenu sukladnosti pravilnika o tlačnoj opremi

Tablica 2 .Stanje i karakteristike radnog medija

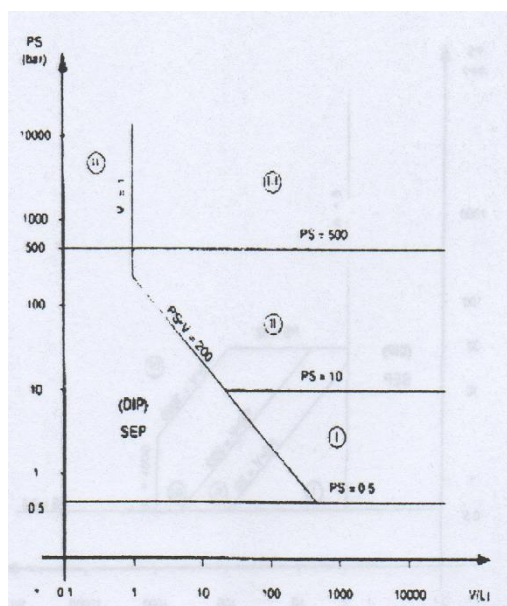
Vrsta	Posude				Generatori pare	Cjevovodi			
Stanje radnog medija	Plin		Kapljevina			Plin		Kapljevina	
Karakteristike radnog medija	Grupa					Grupa			
	1	2	1	2		1	2	1	2
Dijagram	1	2	3	4	5	6	7	8	9



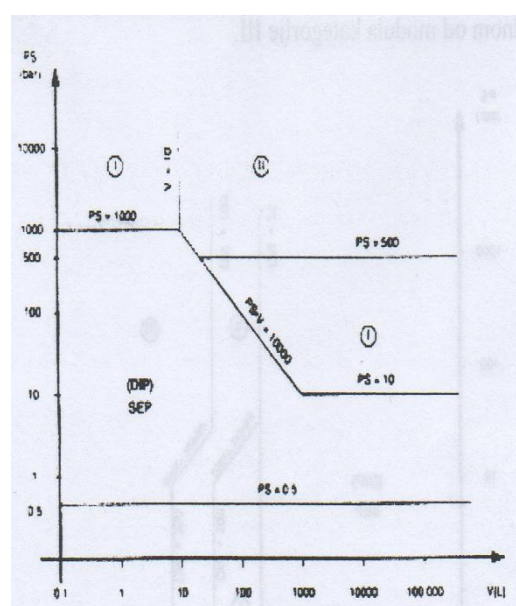
Dijagram 1. Posude za plinove grupe 1



Dijagram 2. Posude za plinove grupe 2

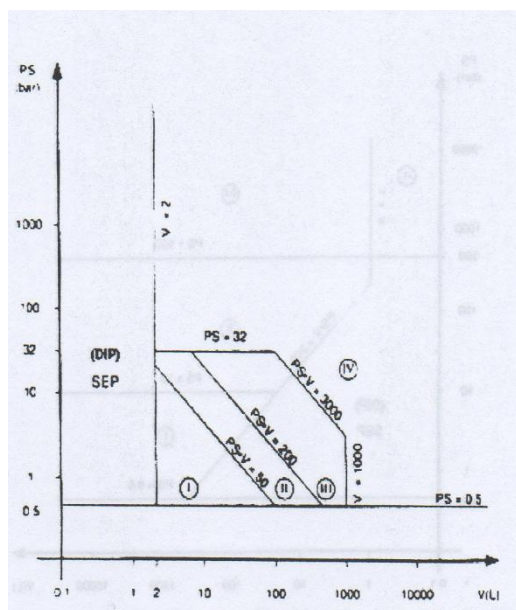


Dijagram 3. Posude za kapljevine grupe 1

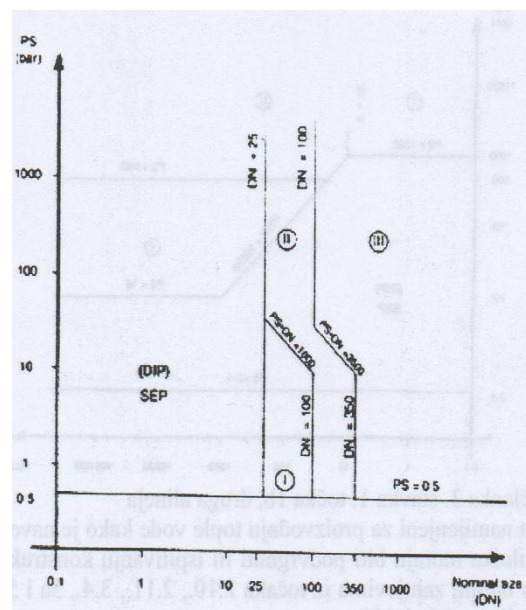


Dijagram 4. Posude za kapljevine grupe 2

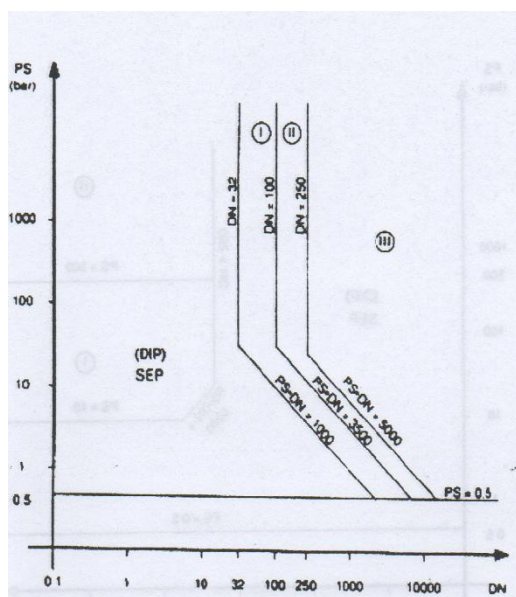




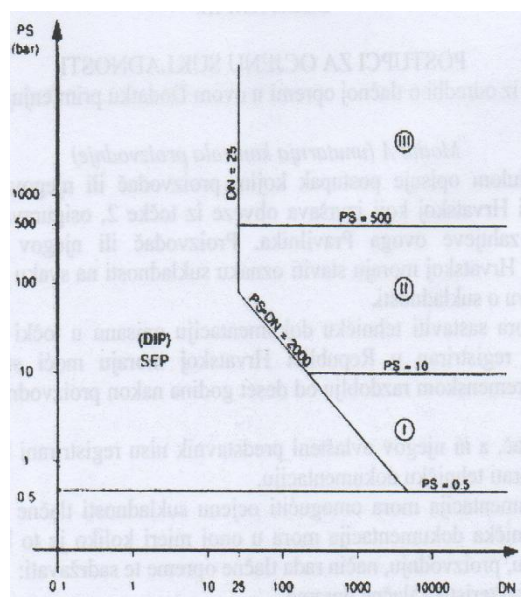
Dijagram 5. Kotlovi



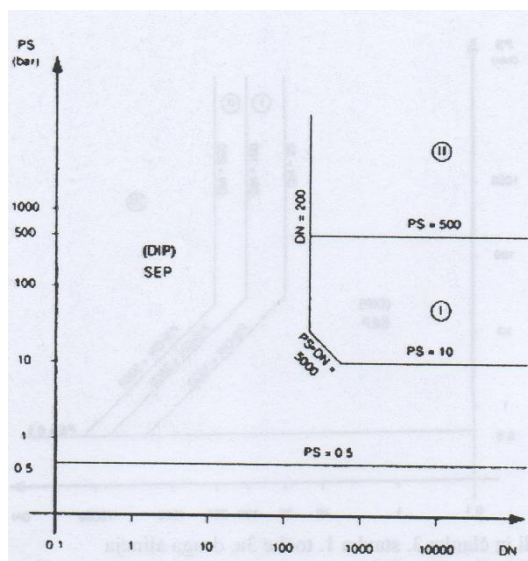
Dijagram 6. Cjevovodi za plinove grupe 1



Dijagram 7. Cjevovodi za plinove grupe 2



Dijagram 8. Cjevovodi za kapljevine grupe 1

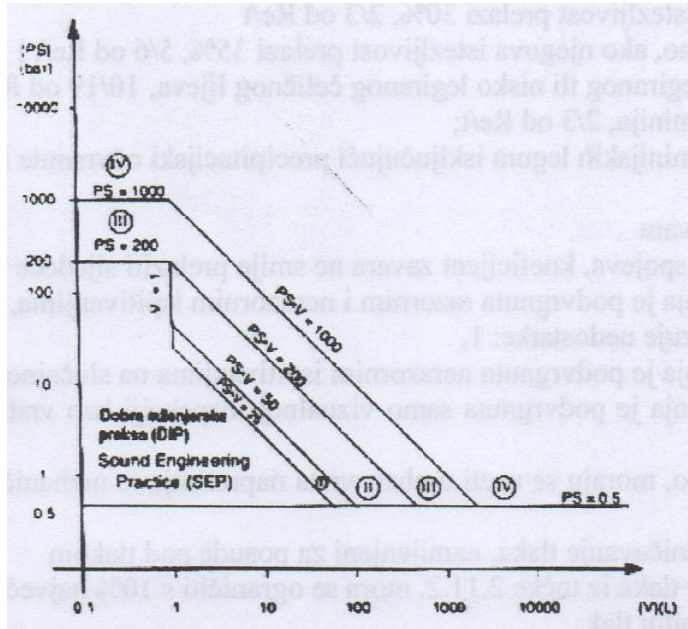


Dijagram 9. Cjevovodi za kapljevine grupe 2

Tehnički zahtjevi kojima moraju udovoljiti tlačne posude opisani su u Pravilniku o tlačnoj opremi člankom 3. Oni se ne razlikuju značajno od zahtjeva koje je postavljao Pravilnik o tehničkim normativima HRN M.E2.150, HRN M.E2.151 za stabilne tlačne posude. U oba slučaja su oni različiti za različite kategorije posuda, kojih u oba slučaja ima četiri. Razlika je da su kategorije rangirane u smislu opasnosti i rizika obrnutim redoslijedom. Prema HRN M.E2.150, HRN M.E2.151 je kategorija I predstavljala posude s najvišim stupnjem opasnosti, a kategorija IV one s najnižim. U Pravilniku o tlačnoj opremi je situacija obrnuta pa kategorija I predstavlja najniži rizik, a kategorija IV najviši.

### 3.2 Određivanje kategorije opreme pod tlakom spremnika za UNP $V=10\text{ m}^3$

Kategorija opreme pod tlakom određuje se prema Dijagramu 1. Dodatka II. Pravilnika o tlačnoj opremi. Spremnik sadrži mješavinu propan-butan koja spada u fluide Grupe 1 te je volumena većeg od 1 l i umnoška  $PS$  i  $V$  većeg od  $25\text{bar}\times\text{l}$



Dijagram 1. Posude za plinove grupe 1

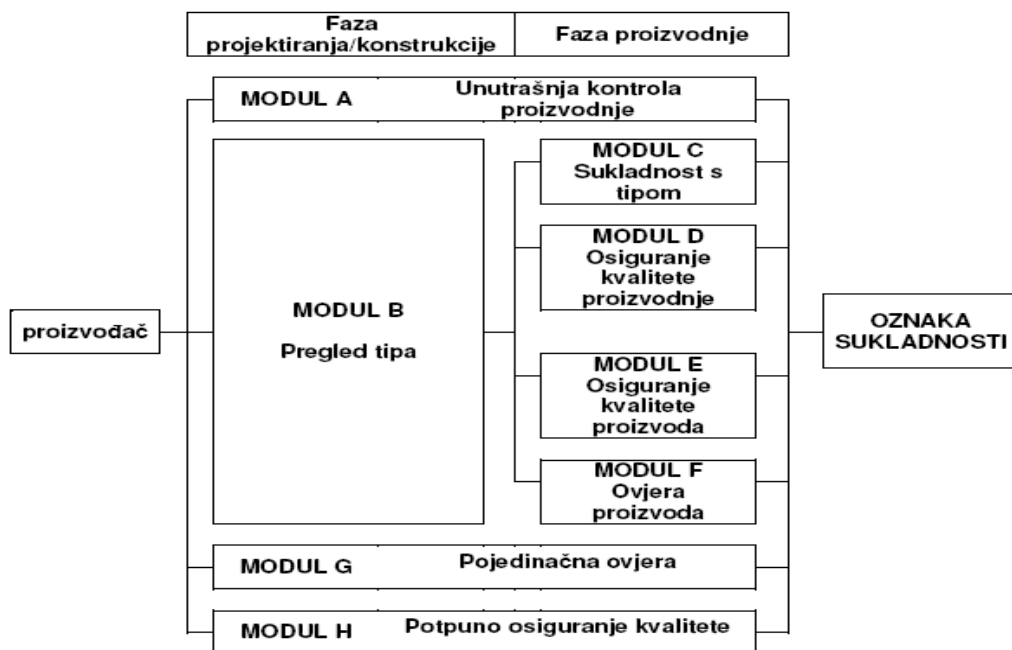
Akumulirana energija :  $P_s \cdot V = 16,4\text{ bar} \cdot 10\,000\text{ l} = 164\,000\text{ bar l}$  ,

- Maksimalni radni tlak  $PS=16,4\text{bar}$
- Volumen spremnika  $V=10\text{ m}^3$

Spremnik za UNP  $V=10\text{ m}^3$  spada u kategoriju IV

### 3.3 Izbor modula za ocjenu sukladnosti spremnika za UNP $V=10\text{ m}^3$

Sukladnost s odredbama pravilnika temeljni je uvjet koji mora zadovoljiti tlačna oprema da bi ju se moglo staviti na tržište odnosno u uporabu.



Slika 2. Shema modula za ocjenu sukladnosti

Postupci ocjene sukladnosti opisani su u dodatku pravilnika putem modula. Ovisno o kategoriji opreme primjenjuje se odgovarajući modul ili njihova kombinacija prema izboru proizvođača. Pregled modula po pripadnosti pojedinim kategorijama opreme s kratkim opisom namjene modula dan je sljedećom tablicom:

Tablica 3. Tablica modula za ocjenu sukladnosti

Pregled modula za ocjenu sukladnosti		
Kategorija	Proizvođač nema sustav kvalitete	Proizvođač ima sustav kvalitete*
I	<b>A</b> - Unutarnja kontrola kvalitete	
II	<b>A1</b> - Unutarnja provjera proizvodnje uz praćenje završne ocjene	<b>D1</b> - OK proizvodnje ili <b>E1</b> - OK proizvoda
III	<b>B1+F</b> - (EZ)** pregled konstrukcije + Ovjera proizvoda ili <b>B+C1</b> - (EZ) pregled tipa + sukladnost tipa	<b>B1+D</b> - (EZ) pregled konstrukcije + OK proizvodnje ili <b>H</b> - Potpuno OK ili <b>B+E</b> - (EZ) pregled tipa + OK proizvoda
IV	<b>G</b> - (EZ) pojedinačna ovjera ili <b>B+F</b> - (EZ) pregled tipa + Ovjera proizvoda	<b>H1</b> - Potpuno OK s pregledom konstrukcije i posebnim nadzorom završne ocjene ili <b>B+D</b> - (EZ) pregled tipa + OK proizvodnje

\* Sustav kvalitete verificira tijelo za ocjenu sukladnosti

\*\* U prijelaznom razdoblju (do pristupa RH Europskoj zajednici) navedeni dokumenti ne nose oznaku EZ

OK – osiguranje kvalitete

Proizvođač bira način ocjene sukladnosti u ovisnosti o tome imali uveden sustav osiguravanja kvalitete ili ne. Pri tome sustav kvalitete mora udovoljavati zahtjevima pravilnika, što će provjeriti tijelo ovlašteno za postupak ocjene sukladnosti.

Modulima su potanko opisane i nabrojene procedure po kojima se izdaje certifikat o sukladnosti i popisana dokumentacija koja mora biti na raspolaganju tijelu za ocjenu sukladnosti.

Nadzemni spremnika za UNP  $V=10\text{ m}^3$  spada u IV kategoriju opreme pod tlakom te iz tablice modula za ocjenu sukladnosti izabran je H1 modul.

Proizvođač mora imati sustav kvalitete tj. potrebno je potpuno OK-osiguranje kvalitete s pregledom konstrukcije i posebnim nadzorom završne ocjene.

#### 4. Analiza rizika spremnika za UNP $V=10\text{ m}^3$ -prema Pravilniku o tlačnoj opremi

Rizik	Uzrok rizika	Projektni kriterij		Vrijednost
Otkaz materijala, propuštanje sadržaja	Tlak	Unutrašnji tlak – ispitni		23,452 bar
	Temperatura	Najniža temperatura okoliša		-20°C
		Najviša temperatura okoliša		40°C
	Način rada	Nepomičan rad		-
		Raspon promjene tlaka $P_\delta$		16,4 bar
		Broj ciklusa punjenje/pražnjenje dnevno		10
		Uvjeti vakuuma stvoreni stanjem UNP-a kod najniže temperature okoliša		0,9 bar
	Vanjska opterećenja	Sile reakcije		0 N
		Momenti reakcije		0 Nm
	Korozija	Unutrašnja	UNP	-
		Vanjska	Nadzemni spremnik	Zaštitni premaz
	Požar	Prema nadređenim propisima		-
Istjecanje sadržaja spremnika pod tlakom prilikom otvaranja	Otvaranje spremnika	Zaštita armature		Poklopci s mehaničkom bravom
	Neovlašteno ili nestručno rukovanje			

Uzrok rizika	Zaštitna mjera	
<p>Tlak</p> <p>Temperatura</p> <p>Način rada</p> <p>Vanjska opterećenja</p>	<p>Uporaba prikladnog materijala za plaštevne i priključke P 355 NL1 u skladu s normom EN 10028-3:2003</p> <p>Uporaba prikladnih materijala za zavarivanje prema normama EN 499, EN 756, EN 758, EN 1668</p> <p>Uporaba prikladnih materijala za brtvljenje</p>	
	<p>Uporaba prikladne naprave za ograničavanje tlaka</p> <p>Sigurnosni ventil</p>	
	<p>Projektiranje i konstruiranje</p> <p>Pravilnik o tlačnim posudama Narodne novine 135/05</p>	
	<p>Zaštita od prepunjivanja spremnika putem fiksnog pokazivača nivoa</p>	
	<p>Izrada spremnika</p>	
	<p>Primjena odobrenih zavora prema Aneksu G norme EN 12542:2002</p>	
	<p>Tolerancije dimenzija prema Aneksu B EN 12542:2002</p>	
	<p>Osoblje kvalificirano prema EN 287-1 ili EN 1418 (zavarivači), EN 473(osoblje za nerazorna ispitivanja)</p>	
	<p>Ispitivanja</p> <p>Ispitne ploče prema EN 12542:2002 točka 9.7</p> <p>Nedestruktivna ispitivanja prema EN 12542:2002 točka 9.2</p> <p>Tehnike nedestruktivnog ispitivanja prema EN 12542:2002 točka 9.3</p> <p>Vizualni pregled zavora prema EN 12542:2002 točka 9.1</p>	
Korozija	Unutrašnja	<p>UNP</p> <p>Nema dodatka za koroziju</p> <p>Dozvoljeno punjenje samo s UNP prema ISO 9162</p>
	Vanjska	Nadzemni spremnik: zaštitni premaz
Požar	Zaštitne mjere prema nadređenim propisima	
Otvaranje	Prije otvaranja spremnik UNP-a mora biti potpuno ispražnjen. Spremnik mora biti inertiziran neutralnim plinom.	

## 5. Proračun nadzemnog spremnika za UNP kapaciteta 10 m<sup>3</sup>

### 5.1 Proračun debljine stijenke cilindričnog plašta prema normi HRN EN 12542

Proračun debljine stijenke plašta proračunava se prema Aneksu E točki E.2.2 norme HRN EN 12542:2002.

➤ Simboli, definicije i jedinice:

- $D_0$  [mm] – vanjski promjer tlačnog spremnika
- $p$  [MPa] – projektni tlak
- $z$  – koeficijent zavora
- $f$  [MPa] – nominalno projektno naprezanje u osnovnom dijelu
- $e_{\min}$  [mm] – minimalna debljina stijenke
- $e$  [mm] – debljina stijenke uključujući dodatke
- $e_n$  [mm] – usvojena debljina stijenke
- $R_m$  [MPa] = 490 N/mm<sup>2</sup> – vlačna čvrstoća
- $R_{eh}$  [MPa] = 355 N/mm<sup>2</sup> – granica razvlačenja  
→ ( $R_m$ ,  $R_{eh}$  – za čelik P 355 NL1 – oznaka po EN 10028 „univerzalni“ skladišni program – mehaničke osobine.)

Nominalno projektno naprezanje u osnovnom dijelu računa se prema formuli:

$$f = \min\left(\frac{R_{eh}}{1,5}; \frac{R_m}{2,4}\right)$$

$$f = \min\left(\frac{355}{1,5} = 236,67 \text{ N/mm}^2; \frac{490}{2,4} = 204,17 \text{ N/mm}^2\right)$$

$$f = 204,17 \text{ N/mm}^2$$

Minimalna debljina stijenke plašta :

$$e_{\min} = \frac{p \cdot D_0}{2 \cdot f_z + p}$$

$$e_{\min} = \frac{1,64 \cdot 1500}{2 \cdot 204,17 + 1,64} = 6 \text{ mm}$$

Debljina stijenke plašta uključujući dodatke:

$$e = e_{\min} + c_1 + c_2 = 6 + 0,3 + 0 = 6,3 \text{ mm}$$

Odobrana debljina stijenke plašta iznosi  $e_n = 7 \text{ mm}$



## 5.2 Proračun debljine stijenke podnice prema normi HRN EN 12542

Proračun debljine stijenke podnice proračunava se prema Aneksu E točki E.2.3 norme HRN EN 12542:2002.

➤ Simboli, definicije i jedinice:

- $D_0$  [mm] – vanjski promjer tlačnog spremnika
- $D_i$  [mm] – unutarnji promjer podnice
- $p$  [MPa] – projektni tlak
- $z$  – koeficijent zavora
- $f$  [MPa] – nominalno projektno naprezanje u osnovnom dijelu
- $f_b$  [MPa] – projektno naprezanje za proračun deformacija
- $C$  – pomoćna vrijednost
- $e$  [mm] – zahtijevana debljina stijenke podnice
- $e_s$  [mm] – minimalna debljina stijenke podnice na granično naprezanje stijenke u centralnim dijelu
- $e_y$  [mm] – minimalna debljina stijenke podnice na zakrivljenom dijelu
- $e_b$  [mm] – minimalna debljina stijenke zakrivljenja radi izbjegavanja deformacije
- $R$  [mm] – unutarnji polumjer zakrivljenosti središnjeg dijela torisferične podnice
- $r$  [mm] – unutarnji radijus zakrivljenja

➤ Uvjeti koji vrijede su:

- $r \geq 0,06D_i$
- $r \geq 3e$
- $e \leq 0,08D_i$
- $R \leq D_0$

Minimalna debljina stijenke podnice  $e$  je veća od minimalne debljine stijenke podnice na granično naprezanje stijenke u centralnom dijelu  $e_s$ , veća od minimalne debljine stijenke podnice na zakrivljenom dijelu  $e_y$ , veća od minimalne debljine stijenke zakrivljenja radi izbjegavanja deformacije  $e_b$

$$e_s = \frac{p \cdot R}{2 \cdot f_z - 0,5 \cdot p}$$

$$e_y = \frac{C(0,75R + 0,2D_i)}{f}$$

$$e_b = [0,75 \cdot R + 0,2 \cdot D_i] \cdot \left[ \frac{p}{111 \cdot f_b} \left( \frac{D_i}{r} \right)^{0,825} \right]^{\left( \frac{1}{1,5} \right)}$$

Osnovne veličine koje uzimamo za proračun debljine stijenke podnica su :

$$D_i = 1486,44 \text{ mm} \rightarrow (e = 6,78 \text{ mm})$$

$$R = 0,8 \cdot D_0 = 0,8 \cdot 1500 = 1200 \text{ mm}$$

$$r = 0,154 \cdot D_i = 0,154 \cdot 1486,44 = 228,92 \text{ mm}$$

Projektno naprezanje za proračun deformacija iznosi :

$$f_b = \frac{R_{eh}}{1,5} = \frac{355}{1,5} = 236,67 \text{ N/mm}^2$$

Minimalna debljina stijenke podnice na granično naprezanje stijenke u centralnom dijelu  $e_s$  računa se prema formuli:

$$e_s = \frac{p \cdot R}{2 \cdot f_z - 0,5 \cdot p}$$

$$e_s = \frac{1,64 \cdot 1200}{2 \cdot 204,17 - 0,5 \cdot 1,64} = 4,83 \text{ mm}$$

Minimalna debljina stijenke podnice na zakrivljenom dijelu  $e_y$  računa se prema formuli:

$$e_y = \frac{C(0,75R + 0,2D_i)}{f}$$

Računa se sa pomoćnim vrijednostima; iz Aneksa E točke E.2.5

$$Y = \min \left[ \frac{e}{R}; 0,04 \right]$$

$$Y = \frac{6,78}{1200} = 0,00565$$

$$Z = \log \left( \frac{1}{Y} \right) = \log \left( \frac{1}{0,00565} \right) = 2,248$$

$$X = \frac{r}{D_i} = \frac{228,92}{1486,44} = 0,154$$

$$N = \left[ 1,006 - \frac{1}{6,2 + (90Y)^4} \right] = \left[ 1,006 - \frac{1}{6,2 + (90 \cdot 0,00565)^4} \right] = 0,84643$$

$$Za X = 0,2$$

$$C_{0,2} = \max\{[0,56 - 1,94Y - 82,5Y^2] \cdot 0,95; 0,5\}$$

$$C_{0,2} = [0,56 - 1,94Y - 82,5Y^2] \cdot 0,95 = 0,519$$

$$Za X = 0,1$$

$$C_{0,1} = [-0,1833Z^3 + 1,0383Z^2 - 1,2943Z + 0,837] \cdot N$$

$$C_{0,1} = [-0,1833 \cdot 2,248^3 + 1,0383 \cdot 2,248^2 - 1,2943 \cdot 2,248 + 0,837] \cdot 0,84643$$

$$C_{0,1} = 0,9244$$

$$Za 0,1 < X < 0,2 ;$$

$$C = 10\{(0,2 - X)C_{0,1} + (X - 0,1)C_{0,2}\}$$

$$C = 10\{(0,2 - 0,154) \cdot 0,9244 + (0,154 - 0,1) \cdot 0,519\}$$

$$C = 0,7053$$

$$e_y = \frac{C(0,75R + 0,2D_i)}{f}$$

$$e_y = \frac{0,7053 \cdot 1,64(0,75 \cdot 1200 + 0,2 \cdot 1486,44)}{204,17} = 6,77 \text{ mm}$$

$$\text{Odgovara} \rightarrow D_u = D_i + 2e_y \rightarrow 1500 = 1486,44 + 2 \cdot 6,78$$

Minimalna debljina stijenke zakrivljenja radi izbjegavanja deformacije  $e_b$  računa se:

$$e_b = [0,75 \cdot R + 0,2 \cdot D_i] \cdot \left[ \frac{p}{111 \cdot f_b} \left( \frac{D_i}{r} \right)^{0,825} \right]^{\left( \frac{1}{1,5} \right)}$$

$$e_b = [0,75 \cdot 1200 + 0,2 \cdot 1486,44] \cdot \left[ \frac{1,64}{111 \cdot 236,67} \left( \frac{1486,44}{228,92} \right)^{0,825} \right]^{\left( \frac{1}{1,5} \right)} = 5,272 \text{ mm}$$

$$\text{Debljina stijenke podnice uključujući dodatke: } e = e_y + c_1 + c_2 = 6,77 + 0,3 + 0 = 7,07 \text{ mm}$$

$$\text{Odabrana debljina stijenke podnice iznosi } e_n = 7 \text{ mm}$$

### 5.3 Proračun debljine stijenke cilindričnog plašta prema normi HRN M.E2.253

Ovom normom se utvrđuju uvjeti i način proračuna cilindričnih i kuglastih plašteva izvrgnutih unutrašnjem tlaku.

➤ Simboli, definicije i jedinice:

- $p$  [Pa] – projektni tlak
- $v$  – koeficijent valjanosti zavarenog spoja
- $D_s$  [mm] – vanjski promjer cilindričnog plašta
- $D_u$  [mm] – unutarnji promjer cilindričnog plašta
- $K$  [N/mm<sup>2</sup>] – proračunska čvrstoća
- $S$  – stupanj sigurnosti
- $c_1$  – dodatak koji uzima u obzir smanjenje debljine stijenke
- $c_2$  – dodatak na koroziju i trošenje
- $s_e$  – odabrana debljina stijenke

Nužan uvjet koji treba biti zadovoljen za ravne cilindrične i kuglaste plašteve prema odnosu vanjskog i unutrašnjeg promjera plašta iznosi :

$$\frac{D_s}{D_u} \leq 1,2$$

Gdje je  $D_u = D_s - 2s_e = 1500 - 2 \cdot 7 = 1486$  mm

$$\frac{D_s}{D_u} = \frac{1500}{1486} = 1,01 \leq 1,2$$

Debljina stijenke cilindričnog plašta izvrgnuta djelovanju unutrašnjeg tlaka :

$$s_{min} = \frac{D_s \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot v + p} + c_1 + c_2$$

$$s_{min} = \frac{1500 \cdot 16,4}{20 \cdot \frac{355}{1,5} \cdot 1 + 16,4} + 0,3 + 0 = 5,48 \text{ mm}$$

$$s_{min} \leq s_e = 7 \text{ mm}$$

## 5.4 Proračun debljine stijenke podnica prema normi HRN M.E2.252

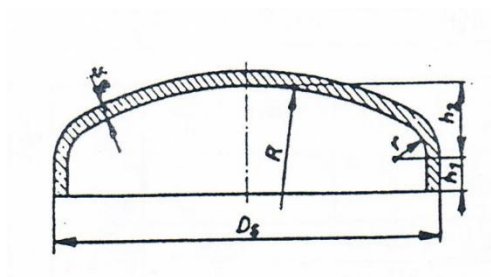
Ovom normom ustanovljuje se postupak proračuna podnica izvrgnutih vanjskom ili unutrašnjem tlaku.

➤ Simboli, definicije i jedinice:

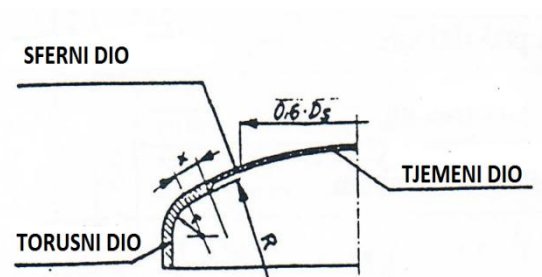
- $p$  [Pa] – projektni tlak
- $\nu$  – koeficijent zavarenog spoja
- $D_s$  [mm] – vanjski promjer cilindričnog plašta
- $D_u$  [mm] – unutarnji promjer cilindričnog plašta
- $K$  [N/mm<sup>2</sup>] – proračunska čvrstoća
- $S$  – stupanj sigurnosti
- $c_1$  – dodatak koji uzima u obzir smanjenje debljine stijenke
- $c_2$  – dodatak na koroziju i trošenje
- $\beta$  – koeficijent podnice

Prema normi M.E2.252 odabrao duboku podnicu nazivne debljine stijenke  $s_e = 7$  mm i vanjskog promjera  $D = 1500$  mm za koju općenito vrijede slijedeće relacije :

- radijus kalote:  $R = 0,8 \cdot D_s = 0,8 \cdot 1500 = 1200$  mm
- radijus torusa:  $r = 0,154 \cdot D_s = 0,154 \cdot 1500 = 231$  mm
- visina ispupčenog dijela podnice:  $h_2 = 0,255 \cdot D_s - 0,635 \cdot s_e$   
 $h_2 = 0,255 \cdot 1500 - 0,635 \cdot 7 = 378$  mm
- visina cilindričnog dijela za debljine stijenke do 50 mm ne smije prekoračiti 150 mm  
 $h_1 \geq 3 \cdot s_e = 21$  mm, odabrao  $h_1 = 50$  mm
- masa podnice:  $m_{pod} = 154$  kg



Slika 3. Ispupčena puna podnica



Slika 4. Podnica s različitim debljinama stijenke torusnog i cilindričnog dijela

Područje primjene dubokih podnica :

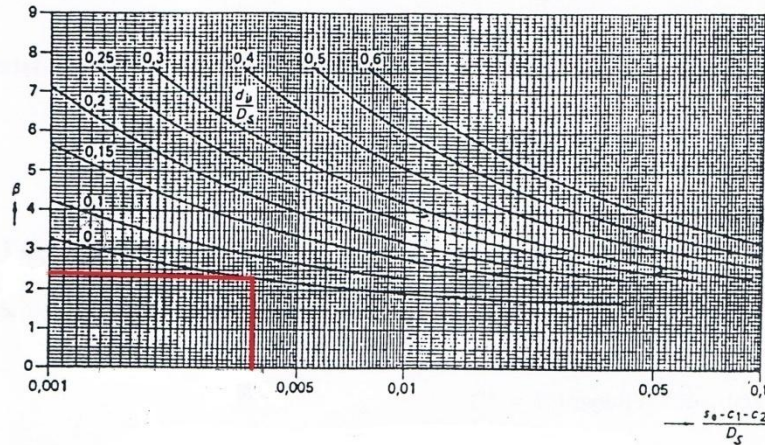
$$0,001 \leq \frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} \leq 0,1$$

$$0,001 \leq \frac{7 - 0,3 - 0}{1500} = 0,0044 \leq 0,1$$

Proračunski koeficijent za duboke podnice  $\beta$  se određuje prema slici 5 kao funkcija

$$\frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} = 0,0044 \text{ i } \frac{d_{up}}{D_s} = 0 \rightarrow \beta = 2,4$$

→ nema izreza na podnici tj. nema priključaka na podnici  $d_{up} = 0$



Dijagram 10. Proračunski koeficijent  $\beta$  za duboke podnice

Promjer kalote :  $D_k = 2R = 2400 \text{ mm}$

Potrebna debljina stijenke kalote:

$$s_k = \frac{D_k \cdot p}{40 \cdot \frac{K}{S} \cdot v + p} + c_1 + c_2$$

$$s_k = \frac{2400 \cdot 16,4}{40 \cdot \frac{355}{1,5} \cdot 1 + 16,4} + 0,3 + 0 = 4,45 \text{ mm}$$

Potrebna debljina stijenke torusa:

$$s_t = \frac{D_s \cdot p \cdot \beta}{40 \cdot \frac{K}{S} \cdot v} + c_1 + c_2$$

$$s_t = \frac{1500 \cdot 16,4 \cdot 2,4}{40 \cdot \frac{355}{1,5} \cdot 1} + 0,3 + 0 = 6,53 \text{ mm}$$

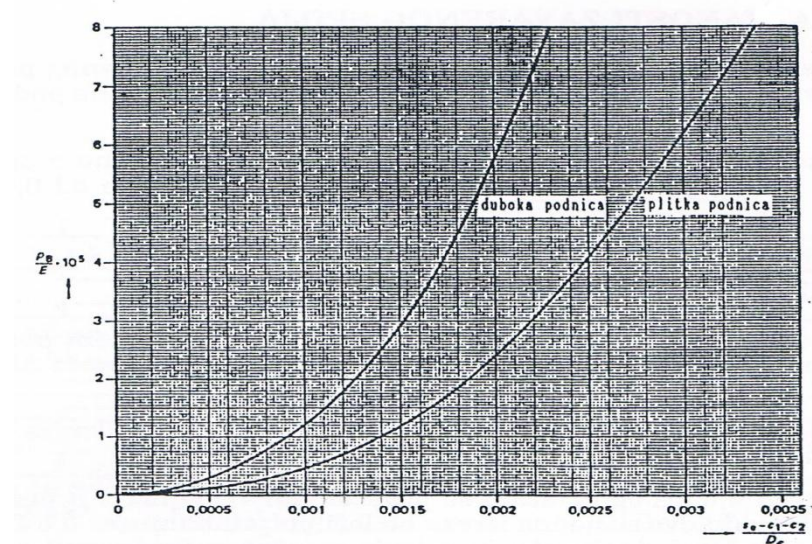
#### 5.4.1 Tlak ulubljivanja

S obzirom da imamo duboku podnicu pod unutrašnjim tlakom, moramo naknadno ispitati je li podnica na prijelaznom dijelu dovoljno dimenzionirana prema elastičnim ulubljenjima ( pojavama nabora na prijelazu torusa u sferični dio ) .

Uvjet koji treba biti zadovoljen i uz već poznati parametar :

$$p_B \geq 1,5 \cdot p = 24,6 \text{ bar} ,$$

$$\frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} = 0,0044$$



Dijagram 11. Određivanje tlaka ulubljivanja

Obzirom da su 24,6 bar i 0,0044 izvan područja koje obuhvaća dijagram za određivanje tlaka ulubljivanja koje se odnosi na duboke podnice, sa gornjeg dijagrama zaključujemo da je podnica u prijelaznom dijelu ispravno dimenzionirana.

### 5.5 Razmatranje odnosa normi HRN EN 12542 prema HRN M.E2.253 ,HRN M.E2.252 za proračun debljine stijenke spremnika za UNP

Tablica 4. Usporedba debljine stijenke cilindričnog plašta prema normi HRN EN 12542 i normi HRN M.E2.253 za UNP kapaciteta  $10\text{ m}^3$

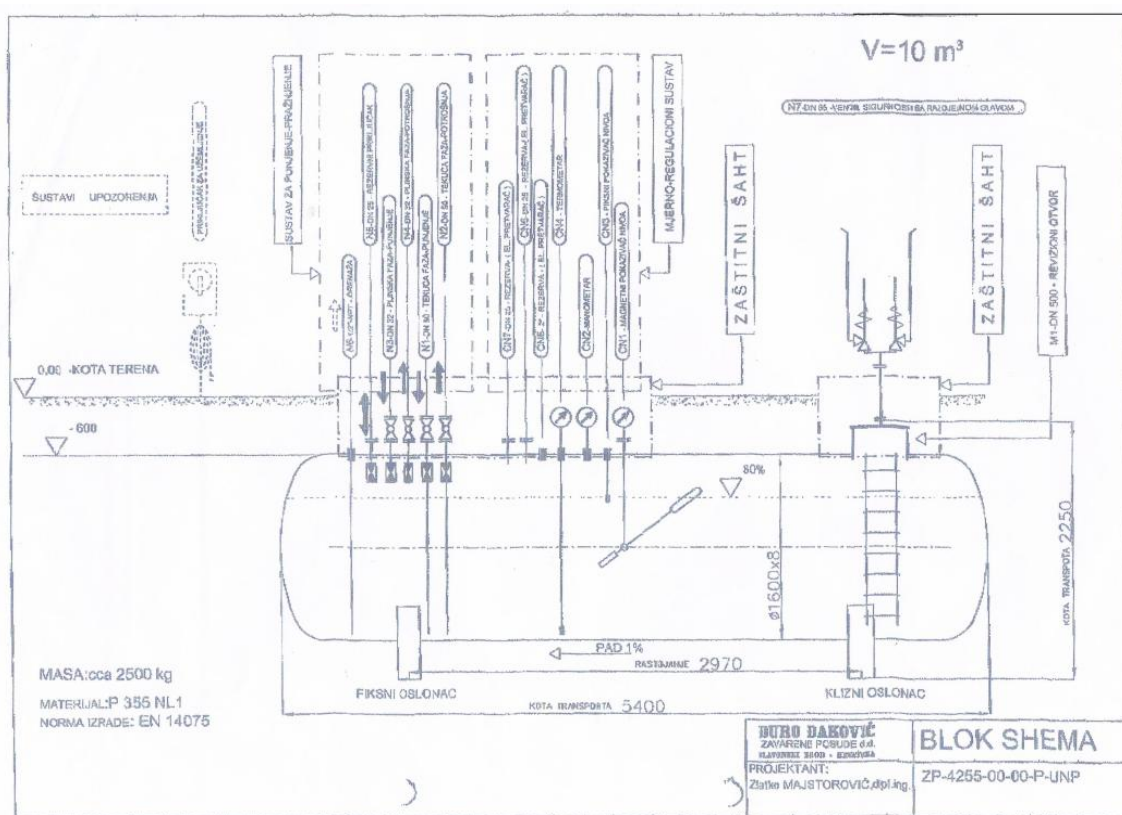
	HRN EN 12542		HRN M.E2.253
Minimalna debljina stijenke plašta	$e_{min} = 6\text{ mm}$	Debljina stijenke cilindričnog plašta izvrnuta djelovanju unutrašnjeg tlaka	$s_{min} = 5,18\text{ mm}$
		Debljina stijenke uključujući dodatak $c_1$	$s_{min} = 5,48\text{ mm}$
Debljina stijenke plašta uključujući dodatak $c_1$	$e = 6,3\text{ mm}$		
Odabrana debljina stijenke plašta	$e_n = 7\text{ mm}$	Odabrana debljina stijenke plašta	$s_e = 7\text{ mm}$

Tablica 5. Usporedba debljine stijenke podnice prema normi HRN EN 12542 i normi HRN M.E2.252 za UNP kapaciteta  $10\text{ m}^3$

	HRN EN 12542		HRN M.E2.252
Minimalna debljina stijenke podnice na granično naprezanje stijenke u centralnom dijelu $e_s$	$e_s = 4,83\text{ mm}$	Debljina stijenke kalote uključujući dodatak $c_1$	$s_k = 4,45\text{ mm}$
Minimalna debljina stijenke podnice na zakrivljenom dijelu $e_y$	$e_y = 6,78\text{ mm}$	Debljina stijenke torusa uključujući dodatak $c_1$	$s_t = 6,53\text{ mm}$
Minimalna debljina stijenke zakrivljenja radi izbjegavanja deformacije $e_b$	$e_b = 5,272\text{ mm}$	Kalota i torus bit će izvedeni s istom debljinom stijenke	
Debljina stijenke podnice uključujući dodatak $c_1$	$e = 7,07\text{ mm}$		
Odabrana debljina stijenke podnice	$e_n = 7\text{ mm}$		



U zaključnom razmatranju norma HRN EN 12542 i HRN M.E2.253, HRN M.E2.252 za proračun debljine stijenke spremnika za UNP vidi se razlika kako je prikazano tablicama 4 i 5. Usporedbom proračuna uočena su zaostajanja normi HRN M.E2.253, HRN M.E2.252 za proračun stijenke malih spremnika za UNP. Kako se vidi norma HRN EN 12542 ne sadrži  $c_2$  dodatak debljine stijenke zbog korozivnog djelovanja radnog medija te spremnik mora sadržavati natpis “Samo za ukapljeni naftni plin koji odgovara zahtjevima norme ISO 9162” Stoga u proračunu debljine stijenke cilindričnog plašta i podnice prema normi HRN M.E2.253 HRN M.E2.252 također nismo uzimali dodatak  $c_2$  kako bi dobili stvarnu usporedbu debljina stijenki između ovih normi.



Slika 5. Blok shema spremnika za UNP volumena 10 m³,  
Đuro Đaković- Zavarene posude

## 5.6 Provjera debljine stijenke spremnika UNP-a u uvjetima vakuma

Debljina stijenke u uvjetima vakuma provjerava se prema točki 8.5 norme prEN 13445-3:1999. Spremnik treba zadovoljiti sljedeći uvjet:  $p < \frac{p_r}{k}$

### ➤ Simboli, definicije i jedinice

- $E$  [N/mm<sup>2</sup>] – modul elastičnosti čelika
- $L$  [mm] – neoslonjena duljina spremnika
- $L_{cyl}$  [mm] – duljina cilindričnog dijela
- $n_{cyl}$  – pomoćna vrijednost određena iz dijagrama 8.5-4 točke 8.5 norme prEN 13445-3
- $p_m$  [MPa] – teoretska elastična nestabilnost koja uzrokuje lom savršenog cilindričnog plašta
- $p_r$  [MPa] – izračunata donja granica tlaka loma
- $p_y$  [MPa] – tlak kod kojeg prosječno obodno naprezanje na cilindričnom plaštu postiže točku popuštanja
- $R$  [mm] – polumjer cilindričnog plašta
- $S$  [N/mm<sup>2</sup>] – nominalno granično naprezanje materijala spremnika
- $\varepsilon$  – prosječna elastična obodna napetost kod popuštanja
- $\nu$  – Poissonov koeficijent

Nominalno granično naprezanje materijala spremnika:  $S = R_{p0,2/t} = 355 \text{ N/mm}^2$

Neoslonjena duljina spremnika:  $L = L_{cyl} + 2 \cdot 0,4h' = 5300 + 2 \cdot 0,4 \cdot 428 = 5642,4 \text{ mm}$

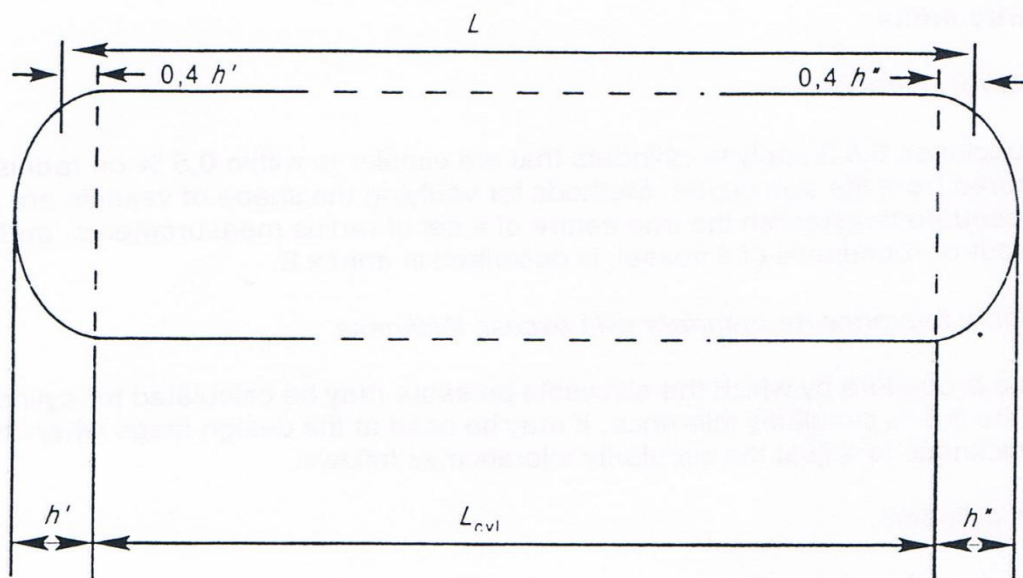


Figure 8.5-1 : Cylinder with heads

Slika 6 . Prikaz -  $L$  -neoslonjene duljine spremnika i  $L_{cyl}$  – duljina cilindričnog dijela

Tlak kod kojeg prosječno obodno naprežanje na cilindričnom plaštu postiže točku popuštanja računa se prema izrazu:

$$p_y = \frac{S \cdot e_a}{R} = \frac{355 \cdot 7}{750} = 3,32 \text{ MPa}$$

Teoretska elastična nestabilnost koja uzrokuje lom savršenog cilindričnog plašta računa se prema izrazu:

$$p_m = \frac{E \cdot e_a \cdot \varepsilon}{R}$$

Prosječna elastična obodna napetost kod popuštanja računa se prema izrazu:

$$\varepsilon = \frac{1}{n_{cyl}^2 - 1 + \frac{Z^2}{2}} \left\{ \frac{1}{\left( \frac{n_{cyl}^2}{Z^2} + 1 \right)^2} + \frac{e_a^2}{12R^2(1 - \nu^2)} (n_{cyl}^2 - 1 + Z^2)^2 \right\}$$

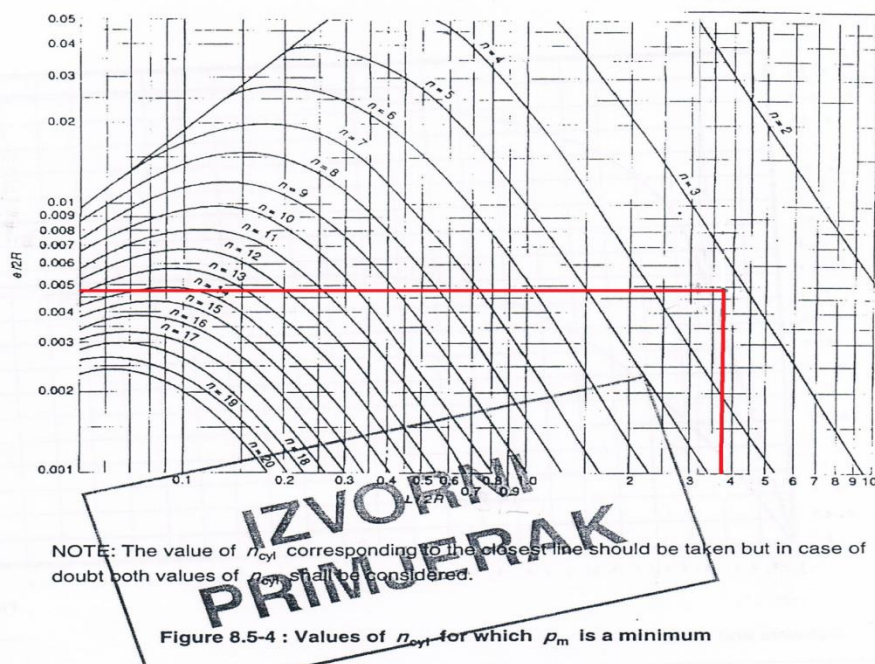
$n_{cyl}$  – očitano iz dijagrama 8.5-4 iz točke 8.5 norme prEN 13445-3:1999

$$n_{cyl} = 3,25$$

Parametri za očitavanje:

$$\frac{e}{2R} = \frac{7}{2 \cdot 750} = 0,00466$$

$$\frac{L}{2R} = \frac{5642,4}{2 \cdot 750} = 3,761$$



Dijagram 12. Dijagram iz točke 8.5 norme prEN 13445-3:1999

Pomoćna vrijednost  $Z$  računa se prema izrazu:

$$Z = \frac{\pi \cdot R}{L} = \frac{\pi \cdot 750}{5642,4} = 0,42$$

$$\varepsilon = \frac{1}{n_{cyl}^2 - 1 + \frac{Z^2}{2}} \left\{ \frac{1}{\left( \frac{n_{cyl}^2}{Z^2} + 1 \right)^2} + \frac{e_a^2}{12R^2(1 - \nu^2)} (n_{cyl}^2 - 1 + Z^2)^2 \right\}$$

$$\varepsilon = \frac{1}{3,25^2 - 1 + \frac{0,42^2}{2}} \left\{ \frac{1}{\left( \frac{3,25^2}{0,42^2} + 1 \right)^2} + \frac{7^2}{12 \cdot 750^2(1 - 0,3^2)} (3,25^2 - 1 + 0,42^2)^2 \right\}$$

$$\varepsilon = 0,000108$$

Također može se očitati direktno  $\varepsilon$  ili provjeriti u dijagramu 8.5-3 iz točke 8.5 norme prEN 13445-3:1999. Parametri za očitavanje:

$$\frac{L}{2R} = \frac{5642,4}{2 \cdot 750} = 3,761 \quad , \quad \frac{2R}{e} = \frac{2 \cdot 750}{7} = 214,3$$

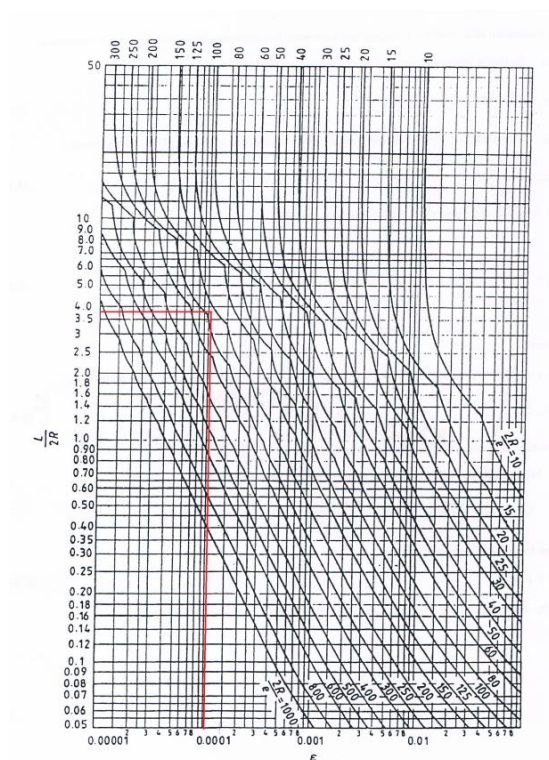


Figure 8.5-3 : Values of  $\varepsilon$

Dijagram 13. Dijagram iz točke 8.5 norme prEN 13445-3:1999

Teoretska elastična nestabilnost:

$$p_m = \frac{E \cdot e_a \cdot \varepsilon}{R} = \frac{210000 \cdot 7 \cdot 0,000108}{750} = 2,12 \text{ MPa}$$

$$\frac{p_m}{p_y} = \frac{2,12}{3,32} = 0,63$$

Vrijedost  $\frac{p_r}{p_y}$  računamo iz tablice 8.5-5 iz točke 8.5 norme prEN 13445-3:1999 pomoću ranije

izračunate vrijednosti  $\frac{p_m}{p_y}$  interpolacijom između 0,5 i 0,75

Tablica 6. Tablica iz točke 8.5 norme prEN 13445-3:1999

1) - Cylinders and cones

$p_m / p_y$	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	2,75	3	3,25	3,5
$p_r / p_y$	0,1245	0,2505	0,375	0,4995	0,6045	0,6795	0,72	0,7545	0,78	0,8025	0,822	0,8355	0,849	0,861
$p_m / p_y$	3,75	4,0	4,25	4,5	4,75	5,0	5,25	5,5	5,75	6,0	6,25	6,5	6,75	$\geq 7,0$
$p_r / p_y$	0,87	0,879	0,8865	0,8955	0,9045	0,9135	0,9165	0,9225	0,9285	0,9345	0,9405	0,9465	0,9525	0,9585

$$\frac{p_r}{p_y} = 0,2505 + \frac{0,375 - 0,2505}{0,75 - 0,5} (0,63 - 0,5) = 0,31$$

Izračunata donja granica tlaka loma iznosi:

$$p_r = p_y \cdot \frac{p_r}{p_y} = 3,32 \cdot 0,31 = 1,03 \text{ MPa} = 10,3 \text{ bar}$$

Provjera uvjeta:  $p < \frac{p_r}{k}$

$$p = 0,9 \text{ bar} < \frac{p_r}{k} = \frac{10,3}{1,5} = 6,87 \text{ bar}$$

Spremnik zadovoljava uvjet

## 6. Proračun priključaka na stijenci plašta spremnika

Proračun priključaka na stijenci plašta spremnika proračunavaju se prema točki E.3 norme HRN EN 12542:2002.

### ➤ Simboli, definicije i jedinice

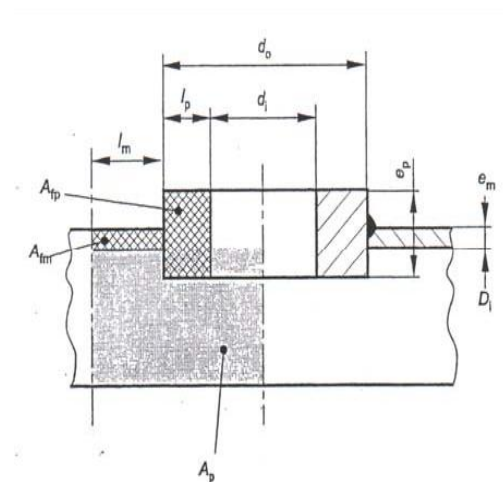
- $d_i$  [mm] – unutarnji promjer priključka
- $d_{ob}$  [mm] – vanjski promjer priključka
- $r_{im}$  [mm] – unutarnji polumjer plašta
- $e_m$  [mm] – stvarna debljina osnovnog dijela
- $e_b$  [mm] – stvarna debljina ogranka
- $e_p$  [mm] – debljina umetka
- $l_b$  [mm] – vanjska debljina ogranka koja se smatra efektivnom kompenzacijom mjerena od vanjskog dijela stijenke osnovnog materijala
- $l_{bi}$  [mm] – veličina duljine upuštanja ogranka unutar plašta, koja se smatra efektivnom kompenzacijom, mjerena od unutarnjeg dijela stijenke osnovnog materijala
- $l_m$  [mm] – duljina ojačanja osnovnog dijela, podrazumijevana kao efektivna kompenzacija, mjerena od ruba otvora ili vanjske stijenke ogranka
- $l_p$  [mm] – maksimalna duljina umetka, podrazumijevana kao efektivna kompenzacija, mjerena preko umetka
- $A_p$  [mm<sup>2</sup>] – tlakom opterećena površina
- $A_{fb}$  [mm<sup>2</sup>] – poprečni presjek kompenzacijske površine ogranka
- $A_{fm}$  [mm<sup>2</sup>] – poprečni presjek kompenzacijske površine osnovnog dijela
- $A_{fp}$  [mm<sup>2</sup>] – poprečni presjek kompenzacijske površine umetka
- $f$  [N/mm<sup>2</sup>] – nominalno projektno naprezanje u osnovnom dijelu
- $f_b$  [N/mm<sup>2</sup>] – nominalno projektno naprezanje ogranka

### ➤ Svaki od priključaka mora zadovoljiti uvjet :

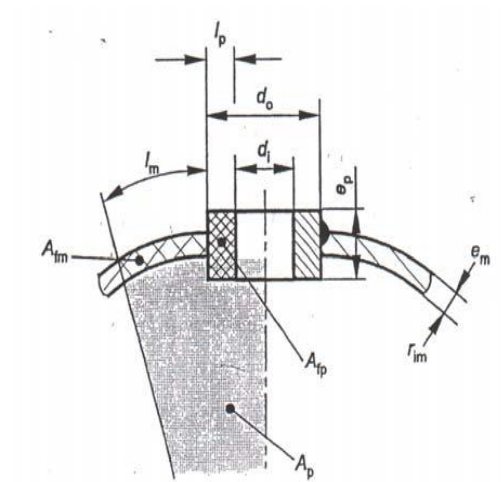
$$p[A_p + 0,5(A_{fm} + A_{fb} + A_{fp})] \leq f \cdot A_{fm} + f_p \cdot A_{fp} + f_b \cdot A_{fb}$$



Površine se izračunavaju prema sljedećim izrazima:



Slika 7. Ojačanje umetcima



Slika 8. Ojačanje umetcima-poprečni presjek

Za ojačanje umetcima:

$$A_p = \frac{D_i}{2} \left( l_m + \frac{d_0}{2} \right)$$

$$A_{fm} = e_m \cdot l_m$$

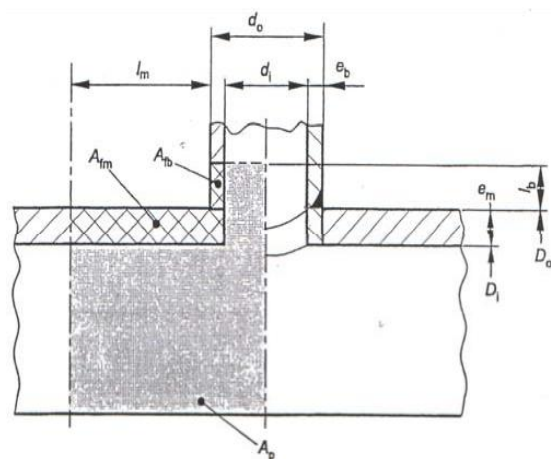
$$A_{fp} = e_p \cdot l_p$$

Za ojačanje umetcima-poprečni presjek:

$$A_p = \frac{r_{im}}{2} \left( l_m + \frac{d_0}{2} \right)$$

$$A_{fm} = e_m \cdot l_m$$

$$A_{fp} = e_p \cdot l_p$$



Slika 9. Ojačanje ogrankom

Za ojačanje ogrankom postavljenim na plašt:

$$A_p = \frac{D_i}{2} \left( l_m + \frac{d_0}{2} \right) + \frac{d_i}{2} (l_b + e_m)$$

$$A_{fm} = e_m (l_m + e_b)$$

$$A_{fb} = e_b \cdot f_b$$

➤ Uvjeti koji vrijede su:

- $\frac{d_i}{2 \cdot r_{im}} \leq 1 \rightarrow$  vrijedi za cilindrične plašteve
- $l_{bi} \leq 0,5 l_b$
- $l_p \leq l_m$
- $e_p \leq e_m$



## 6.1 Proračun priključka ventila za punjenje

Koristi se ojačanje izreza umetkom

➤ Veličine koje uzimamo za proračun priključka ventila za punjenje :

- $D_0 = 1500 \text{ mm}$
- $D_i = 1486 \text{ mm}$
- $r_{im} = 743 \text{ mm}$
- $e_m = 7 \text{ mm}$
- $d_0 = 58 \text{ mm}$
- $d_i = 45 \text{ mm}$
- $e_p = 40 \text{ mm}$
- $l_p = 6,5 \text{ mm}$
- projektni tlak  $p = 1,64 \text{ MPa}$
- $f = f_p = 204,17 \text{ N/mm}^2$

Duljina ojačanja osnovnog dijela, podrazumijevana kao efektivna kompenzacija, mjerena od ruba otvora ili vanjske stijenke ogranka  $l_m$  iznosi:

$$l_m = \sqrt{(2 \cdot r_{im} + e_m)e_m} = \sqrt{(2 \cdot 743 + 7) \cdot 7} = 102,23 \text{ mm}$$

Maksimalna duljina umetka, podrazumijevana kao efektivna kompenzacija, mjerena preko umetka:

$$l_p = \frac{d_0 - d_i}{2} = \frac{58 - 45}{2} = 6,5 \text{ mm}$$

Uzdužni presjek:

$$A_p = \frac{D_i}{2} \left( l_m + \frac{d_0}{2} \right)$$

$$A_p = \frac{1486}{2} \left( 102,23 + \frac{58}{2} \right) = 97\,503,89 \text{ mm}^2$$

Poprečni presjek kompenzacijske površine osnovnog dijela  $A_{fm}$  iznosi:

$$A_{fm} = e_m \cdot l_m$$

$$A_{fm} = 7 \cdot 102,23 = 715,61 \text{ mm}^2$$

Poprečni presjek kompenzacijske površine ogranka  $A_{fp}$  iznosi:

$$A_{fp} = e_p \cdot l_p$$

$$A_{fp} = 40 \cdot 6,5 = 260 \text{ mm}^2$$

Provjera uvjeta:

$$p[A_p + 0,5(A_{fm} + A_{fb} + A_{fp})] \leq f \cdot A_{fm} + f_p \cdot A_{fp} + f_b \cdot A_{fb}$$

$$1,64[97\,503,89 + 0,5(715,61 + 260)] \leq 204,17 \cdot 715,61 + 204,17 \cdot 260$$

$$160\,706,37 \text{ N} \leq 199\,190,29 \text{ N}$$

Poprečni presjek:

Tlakom opterećena površina  $A_p$  iznosi:

$$A_p = \frac{r_{im}}{2} \left( l_m + \frac{d_0}{2} \right) = \frac{743}{2} \left( 102,23 + \frac{58}{2} \right) = 48\,751,95 \text{ mm}^2$$

Poprečni presjek kompenzacijske površine osnovnog dijela  $A_{fm}$  iznosi:

$$A_{fm} = e_m \cdot l_m$$

$$A_{fm} = 7 \cdot 102,23 = 715,61 \text{ mm}^2$$

Poprečni presjek kompenzacijske površine ogranka  $A_{fp}$  iznosi:

$$A_{fp} = e_p \cdot l_p$$

$$A_{fp} = 40 \cdot 6,5 = 260 \text{ mm}^2$$

Provjera uvjeta:

$$p[A_p + 0,5(A_{fm} + A_{fb} + A_{fp})] \leq f \cdot A_{fm} + f_p \cdot A_{fp} + f_b \cdot A_{fb}$$

$$1,64[48\,751,945 + 0,5(715,61 + 260)] \leq 204,17 \cdot 715,61 + 204,17 \cdot 260$$

$$80\,753,19 \text{ N} \leq 199\,190,29 \text{ N}$$

Priključak ventila za punjenje zadovoljava uvjet :

$$p[A_p + 0,5(A_{fm} + A_{fb} + A_{fp})] \leq f \cdot A_{fm} + f_p \cdot A_{fp} + f_b \cdot A_{fb}$$

## 6.2 Proračun priključka ventila za izuzimanje tekuće faze

Koristi se ojačanje izreza umetkom

➤ Veličine koje uzimamo za proračun priključka za izuzimanje tekuće faze :

- $D_0 = 1500 \text{ mm}$
- $D_i = 1486 \text{ mm}$
- $r_{im} = 743 \text{ mm}$
- $e_m = 7 \text{ mm}$
- $d_0 = 40 \text{ mm}$
- $d_i = 24 \text{ mm}$
- $e_p = 40 \text{ mm}$
- $l_p = 8 \text{ mm}$
- projektni tlak  $p = 1,64 \text{ Mpa}$
- $f = f_p = 204,17 \text{ N/mm}$

Duljina ojačanja osnovnog dijela, podrazumijevana kao efektivna kompenzacija, mjerena od ruba otvora ili vanjske stijenke ogranka  $l_m$  iznosi:

$$l_m = \sqrt{(2 \cdot r_{im} + e_m)e_m} = \sqrt{(2 \cdot 743 + 7) \cdot 7} = 102,23 \text{ mm}$$

Maksimalna duljina umetka, podrazumijevana kao efektivna kompenzacija, mjerena preko umetka:

$$l_p = \frac{d_0 - d_i}{2} = \frac{40 - 24}{2} = 8 \text{ mm}$$

Uzdužni presjek:

$$A_p = \frac{D_i}{2} \left( l_m + \frac{d_0}{2} \right)$$

$$A_p = \frac{1486}{2} \left( 102,23 + \frac{40}{2} \right) = 90\,816,89 \text{ mm}^2$$

Poprečni presjek kompenzacijske površine osnovnog dijela  $A_{fm}$  iznosi:

$$A_{fm} = e_m \cdot l_m$$

$$A_{fm} = 7 \cdot 102,23 = 715,61 \text{ mm}^2$$

Poprečni presjek kompenzacijske površine ogranka  $A_{fp}$  iznosi:

$$A_{fp} = e_p \cdot l_p$$

$$A_{fp} = 40 \cdot 8 = 320 \text{ mm}^2$$

Provjera uvjeta:

$$p[A_p + 0,5(A_{fm} + A_{fb} + A_{fp})] \leq f \cdot A_{fm} + f_p \cdot A_{fp} + f_b \cdot A_{fb}$$

$$1,64[90\,816,89 + 0,5(715,61 + 320)] \leq 204,17 \cdot 715,61 + 204,17 \cdot 320$$

$$149\,788,89 \text{ N} \leq 211\,440,49 \text{ N}$$

Poprečni presjek:

Tlakom opterećena površina  $A_p$  iznosi:

$$A_p = \frac{r_{im}}{2} \left( l_m + \frac{d_0}{2} \right) = \frac{743}{2} \left( 102,23 + \frac{40}{2} \right) = 45\,408,45 \text{ mm}^2$$

Poprečni presjek kompenzacijske površine osnovnog dijela  $A_{fm}$  iznosi:

$$A_{fm} = e_m \cdot l_m$$

$$A_{fm} = 7 \cdot 102,23 = 715,61 \text{ mm}^2$$

Poprečni presjek kompenzacijske površine ogranka  $A_{fp}$  iznosi:

$$A_{fp} = e_p \cdot l_p$$

$$A_{fp} = 40 \cdot 8 = 320 \text{ mm}^2$$

Provjera uvjeta:

$$p[A_p + 0,5(A_{fm} + A_{fb} + A_{fp})] \leq f \cdot A_{fm} + f_p \cdot A_{fp} + f_b \cdot A_{fb}$$

$$1,64[45\,408,45 + 0,5(715,61 + 320)] \leq 204,17 \cdot 715,61 + 204,17 \cdot 320$$

$$75\,319,05 \text{ N} \leq 211\,440,49 \text{ N}$$

Priključak ventila za izuzimanje tekuće faze zadovoljava uvjet :

$$p[A_p + 0,5(A_{fm} + A_{fb} + A_{fp})] \leq f \cdot A_{fm} + f_p \cdot A_{fp} + f_b \cdot A_{fb}$$

### 6.3 Proračun priključka sigurnosnog ventila

Koristi se ojačanje izreza umetkom

➤ Veličine koje uzimamo za proračun priključka sigurnosnog ventila :

- $D_0 = 1500 \text{ mm}$
- $D_i = 1486 \text{ mm}$
- $r_{im} = 743 \text{ mm}$
- $e_m = 7 \text{ mm}$
- $d_0 = 65 \text{ mm}$
- $d_i = 45 \text{ mm}$
- $e_p = 35 \text{ mm}$
- $l_p = 10 \text{ mm}$
- projektni tlak  $p = 1,64 \text{ Mpa}$
- $f = f_p = 204,17 \text{ N/mm}$

Duljina ojačanja osnovnog dijela, podrazumijevana kao efektivna kompenzacija, mjerena od ruba otvora ili vanjske stijenke ogranka  $l_m$  iznosi:

$$l_m = \sqrt{(2 \cdot r_{im} + e_m)e_m} = \sqrt{(2 \cdot 743 + 7) \cdot 7} = 102,23 \text{ mm}$$

Maksimalna duljina umetka, podrazumijevana kao efektivna kompenzacija, mjerena preko umetka:

$$l_p = \frac{d_0 - d_i}{2} = \frac{65 - 45}{2} = 10 \text{ mm}$$

Uzdužni presjek:

$$A_p = \frac{D_i}{2} \left( l_m + \frac{d_0}{2} \right)$$

$$A_p = \frac{1486}{2} \left( 102,23 + \frac{65}{2} \right) = 100\,104,39 \text{ mm}^2$$

Poprečni presjek kompenzacijske površine osnovnog dijela  $A_{fm}$  iznosi:

$$A_{fm} = e_m \cdot l_m$$

$$A_{fm} = 7 \cdot 102,23 = 715,61 \text{ mm}^2$$

Poprečni presjek kompenzacijske površine ogranka  $A_{fp}$  iznosi:

$$A_{fp} = e_p \cdot l_p$$

$$A_{fp} = 35 \cdot 10 = 350 \text{ mm}^2$$

Provjera uvjeta:

$$p[A_p + 0,5(A_{fm} + A_{fb} + A_{fp})] \leq f \cdot A_{fm} + f_p \cdot A_{fp} + f_b \cdot A_{fp}$$

$$1,64[100\,104,39 + 0,5(715,61 + 350)] \leq 204,17 \cdot 715,61 + 204,17 \cdot 350$$

$$165\,0044,9 \text{ N} \leq 217\,565,59 \text{ N}$$

Poprečni presjek:

Tlakom opterećena površina  $A_p$  iznosi:

$$A_p = \frac{r_{im}}{2} \left( l_m + \frac{d_0}{2} \right) = \frac{743}{2} \left( 102,23 + \frac{65}{2} \right) = 25\,904,69 \text{ mm}^2$$

Poprečni presjek kompenzacijske površine osnovnog dijela  $A_{fm}$  iznosi:

$$A_{fm} = e_m \cdot l_m$$

$$A_{fm} = 7 \cdot 102,23 = 715,61 \text{ mm}^2$$

Poprečni presjek kompenzacijske površine ogranka  $A_{fp}$  iznosi:

$$A_{fp} = e_p \cdot l_p$$

$$A_{fp} = 35 \cdot 10 = 350 \text{ mm}^2$$

Provjera uvjeta:

$$p[A_p + 0,5(A_{fm} + A_{fb} + A_{fp})] \leq f \cdot A_{fm} + f_p \cdot A_{fp} + f_b \cdot A_{fp}$$

$$1,64[25\,904,69 + 0,5(715,61 + 350)] \leq 204,17 \cdot 715,61 + 204,17 \cdot 350$$

$$43\,357,49 \text{ N} \leq 217\,565,6 \text{ N}$$

Priključak za sigurnosni ventil zadovoljava uvjet :

$$p[A_p + 0,5(A_{fm} + A_{fb} + A_{fp})] \leq f \cdot A_{fm} + f_p \cdot A_{fp} + f_b \cdot A_{fp}$$

## 6.4 Proračun priključka za mjerenje nivoa tekućine

Koristi se ojačanje izreza umetkom

➤ Veličine koje uzimamo za proračun priključka za mjerenje nivoa tekućine :

- $D_0 = 1500 \text{ mm}$
- $D_i = 1486 \text{ mm}$
- $r_{im} = 743 \text{ mm}$
- $e_m = 7 \text{ mm}$
- $d_0 = 70 \text{ mm}$
- $d_i = 34 \text{ mm}$
- $e_p = 35 \text{ mm}$
- $l_p = 18 \text{ mm}$
- projektni tlak  $p = 1,64 \text{ Mpa}$
- $f = f_p = 204,17 \text{ N/mm}$

Duljina ojačanja osnovnog dijela, podrazumijevana kao efektivna kompenzacija, mjerena od ruba otvora ili vanjske stijenke ogranka  $l_m$  iznosi:

$$l_m = \sqrt{(2 \cdot r_{im} + e_m)e_m} = \sqrt{(2 \cdot 743 + 7) \cdot 7} = 102,23 \text{ mm}$$

Maksimalna duljina umetka, podrazumijevana kao efektivna kompenzacija, mjerena preko umetka:

$$l_p = \frac{d_0 - d_i}{2} = \frac{70 - 34}{2} = 18 \text{ mm}$$

Uzdužni presjek:

$$A_p = \frac{D_i}{2} \left( l_m + \frac{d_0}{2} \right)$$

$$A_p = \frac{1486}{2} \left( 102,23 + \frac{70}{2} \right) = 101\,961,89 \text{ mm}^2$$

Poprečni presjek kompenzacijske površine osnovnog dijela  $A_{fm}$  iznosi:

$$A_{fm} = e_m \cdot l_m$$

$$A_{fm} = 7 \cdot 102,23 = 715,61 \text{ mm}^2$$

Poprečni presjek kompenzacijske površine ogranka  $A_{fp}$  iznosi:

$$A_{fp} = e_p \cdot l_p$$

$$A_{fp} = 35 \cdot 18 = 630 \text{ mm}^2$$

Provjera uvjeta:

$$p[A_p + 0,5(A_{fm} + A_{fb} + A_{fp})] \leq f \cdot A_{fm} + f_p \cdot A_{fp} + f_b \cdot A_{fb}$$

$$1,64[101\,961,89 + 0,5(715,61 + 630)] \leq 204,17 \cdot 715,61 + 204,17 \cdot 630$$

$$168\,320,89 \text{ N} \leq 274\,733,19 \text{ N}$$

Poprečni presjek:

Tlakom opterećena površina  $A_p$  iznosi:

$$A_p = \frac{r_{im}}{2} \left( l_m + \frac{d_0}{2} \right) = \frac{743}{2} \left( 102,23 + \frac{70}{2} \right) = 50\,980,95 \text{ mm}^2$$

Poprečni presjek kompenzacijske površine osnovnog dijela  $A_{fm}$  iznosi:

$$A_{fm} = e_m \cdot l_m$$

$$A_{fm} = 7 \cdot 102,23 = 715,61 \text{ mm}^2$$

Poprečni presjek kompenzacijske površine ogranka  $A_{fp}$  iznosi:

$$A_{fp} = e_p \cdot l_p$$

$$A_{fp} = 35 \cdot 18 = 630 \text{ mm}^2$$

Provjera uvjeta:

$$p[A_p + 0,5(A_{fm} + A_{fb} + A_{fp})] \leq f \cdot A_{fm} + f_p \cdot A_{fp} + f_b \cdot A_{fb}$$

$$1,64[50\,980,95 + 0,5(715,61 + 630)] \leq 204,17 \cdot 715,61 + 204,17 \cdot 630$$

$$84\,712,16 \text{ N} \leq 274\,733,19 \text{ N}$$

Priključak za mjerenje nivoa tekućine zadovoljava uvjet:

$$p[A_p + 0,5(A_{fm} + A_{fb} + A_{fp})] \leq f \cdot A_{fm} + f_p \cdot A_{fp} + f_b \cdot A_{fb}$$



## 6.5 Proračun priključka za čišćenje nečistoća

Koristi se ojačanje izreza ogrankom

➤ Veličine koje uzimamo za proračun priključka za čišćenje nečistoća:

- $D_0 = 1500 \text{ mm}$
- $D_i = 1486 \text{ mm}$
- $r_{im} = 743 \text{ mm}$
- $e_m = 7 \text{ mm}$
- $d_{ob} = 50 \text{ mm}$
- $d_i = 28 \text{ mm}$
- $e_b = 11 \text{ mm}$
- $l_p = 18 \text{ mm}$
- projektni tlak  $p = 1,64 \text{ Mpa}$
- $f = f_p = 204,17 \text{ N/mm}$

Duljina ojačanja osnovnog dijela, podrazumijevana kao efektivna kompenzacija, mjerena od ruba otvora ili vanjske stijenke ogranka  $l_m$  iznosi:

$$l_m = \sqrt{(2 \cdot r_{im} + e_m)e_m} = \sqrt{(2 \cdot 743 + 7) \cdot 7} = 102,23 \text{ mm}$$

Vanjska debljina ogranka koja se smatra efektivnom kompenzacijom mjerena od vanjskog dijela stijenke osnovnog materijala  $l_b$  iznosi:

$$l_b = \sqrt{(d_{ob} - e_b)e_b} = \sqrt{(50 - 11) \cdot 11} = 20,72 \text{ mm}$$

Uzdužni presjek:

Tlakom opterećena površina  $A_p$  iznosi:

$$A_p = \frac{D_i}{2} \left( l_m + \frac{d_0}{2} \right) + \frac{d_i}{2} (l_b + e_m)$$

$$A_p = \frac{1486}{2} \left( 102,23 + \frac{50}{2} \right) + \frac{28}{2} (20,72 + 7) = 94\,919,97 \text{ mm}^2$$

Poprečni presjek kompenzacijske površine osnovnog dijela  $A_{fm}$  iznosi:

$$A_{fm} = e_m \cdot l_m$$

$$A_{fm} = 7 \cdot 102,23 = 715,61 \text{ mm}^2$$

Poprečni presjek kompenzacijske površine ogranka  $A_{fb}$  iznosi:

$$A_{fb} = e_b \cdot l_b$$

$$A_{fb} = 11 \cdot 20,72 = 227,92 \text{ mm}^2$$

Provjera uvjeta:

$$p[A_p + 0,5(A_{fm} + A_{fb} + A_{fp})] \leq f \cdot A_{fm} + f_p \cdot A_{fp} + f_b \cdot A_{fp}$$

$$1,64[94\,919,97 + 0,5(715,61 + 227,92)] \leq 204,17 \cdot 715,61 + 204,17 \cdot 227,92$$

$$156\,442,45 \text{ N} \leq 192\,640,52 \text{ N}$$

Priključak za čišćenje nečistoće zadovoljava uvjet:

$$p[A_p + 0,5(A_{fm} + A_{fb} + A_{fp})] \leq f \cdot A_{fm} + f_p \cdot A_{fp} + f_b \cdot A_{fp}$$

## 6.6 Proračun priključka za kombinirani ventil

Koristi se ojačanje izreza umetkom

➤ Veličine koje uzimamo za proračun priključka za kombinirni ventil :

- $D_0 = 1500 \text{ mm}$
- $D_i = 1486 \text{ mm}$
- $r_{im} = 743 \text{ mm}$
- $e_m = 7 \text{ mm}$
- $d_0 = 40 \text{ mm}$
- $d_i = 24 \text{ mm}$
- $e_p = 40 \text{ mm}$
- $l_p = 8 \text{ mm}$
- projektni tlak  $p = 1,64 \text{ Mpa}$
- $f = f_p = 204,17 \text{ N/mm}^2$

Duljina ojačanja osnovnog dijela, podrazumijevana kao efektivna kompenzacija, mjerena od ruba otvora ili vanjske stijenke ogranka  $l_m$  iznosi:

$$l_m = \sqrt{(2 \cdot r_{im} + e_m)e_m} = \sqrt{(2 \cdot 743 + 7) \cdot 7} = 102,23 \text{ mm}$$

Maksimalna duljina umetka, podrazumijevana kao efektivna kompenzacija, mjerena preko umetka:

$$l_p = \frac{d_0 - d_i}{2} = \frac{40 - 24}{2} = 8 \text{ mm}$$

Uzdužni presjek:

$$A_p = \frac{D_i}{2} \left( l_m + \frac{d_0}{2} \right)$$

$$A_p = \frac{1486}{2} \left( 102,23 + \frac{40}{2} \right) = 90\,816,89 \text{ mm}^2$$

Poprečni presjek kompenzacijske površine osnovnog dijela  $A_{fm}$  iznosi:

$$A_{fm} = e_m \cdot l_m$$

$$A_{fm} = 7 \cdot 102,23 = 715,61 \text{ mm}^2$$

Poprečni presjek kompenzacijske površine ogranka  $A_{fp}$  iznosi:

$$A_{fp} = e_p \cdot l_p$$

$$A_{fp} = 40 \cdot 8 = 320 \text{ mm}^2$$

Provjera uvjeta:

$$p[A_p + 0,5(A_{fm} + A_{fb} + A_{fp})] \leq f \cdot A_{fm} + f_p \cdot A_{fp} + f_b \cdot A_{fp}$$

$$1,64[90\,816,89 + 0,5(715,61 + 320)] \leq 204,17 \cdot 715,61 + 204,17 \cdot 320$$

$$149\,788,89 \text{ N} \leq 211\,440,49 \text{ N}$$

Poprečni presjek:

Tlakom opterećena površina  $A_p$  iznosi:

$$A_p = \frac{r_{im}}{2} \left( l_m + \frac{d_0}{2} \right) = \frac{743}{2} \left( 102,23 + \frac{40}{2} \right) = 45\,408,45 \text{ mm}^2$$

Poprečni presjek kompenzacijske površine osnovnog dijela  $A_{fm}$  iznosi:

$$A_{fm} = e_m \cdot l_m$$

$$A_{fm} = 7 \cdot 102,23 = 715,61 \text{ mm}^2$$

Poprečni presjek kompenzacijske površine ogranka  $A_{fp}$  iznosi:

$$A_{fp} = e_p \cdot l_p$$

$$A_{fp} = 40 \cdot 8 = 320 \text{ mm}^2$$

Provjera uvjeta:

$$p[A_p + 0,5(A_{fm} + A_{fb} + A_{fp})] \leq f \cdot A_{fm} + f_p \cdot A_{fp} + f_b \cdot A_{fp}$$

$$1,64[45\,408,45 + 0,5(715,61 + 320)] \leq 204,17 \cdot 715,61 + 204,17 \cdot 320$$

$$75\,319,05 \text{ N} \leq 211\,440,49 \text{ N}$$

Priključak za kombinirani ventil zadovoljava uvjet :

$$p[A_p + 0,5(A_{fm} + A_{fb} + A_{fp})] \leq f \cdot A_{fm} + f_p \cdot A_{fp} + f_b \cdot A_{fp}$$

## 7. Proračun težine spremnika i proračun maksimalnog volumena punjenja

### 7.1. Proračun težine spremnika

- Veličine koje uzimamo za proračun težine spremnika :
  - gustoća čelika ,  $\rho_c = 780 \text{ kg/m}^3$
  - gustoća vode ,  $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$
  - masa podnice,  $m_{pod} = 154 \text{ kg}$
  - volumen cilindričnog dijela spremnika,  $V_{cil}$  (šuplji valjak s tankom stijenkom )
  - volumen spremnika,  $V = 10 \text{ m}^3$

Volumen cilindričnog dijela spremnika:

$$V_{cil} = 2 \cdot \pi \cdot s_e \cdot \frac{0,5(D_v + D_i)}{2} L_1 \cdot 10^{-9}$$
$$V_{cil} = 2 \cdot \pi \cdot 7 \cdot \frac{0,5(1500 + 1486)}{2} 5300 \cdot 10^{-9} = 0,174 \text{ m}^3$$

Proračun težine spremnika (Spremnik ispunjen vodom)

$$F_G = (2 \cdot m_{pod} + V_{cil} \cdot \rho_c + V_{sprem} \cdot \rho_w) \cdot g$$

$$F_G = (2 \cdot 154 + 0,174 \cdot 780 + 10 \cdot 1000) \cdot 9,81$$

$$F_G = 102\,452,9 \text{ N}$$

Težina spremnika iznosi  $F_G = 102\,452,9 \text{ N}$

### 7.2. Proračun maksimalnog volumena punjenja

Proračun maksimalnog punjenja provodi se prema točki A.3 Aneksa A norme HRN EN 12542:2002.

- Simboli definicije i jedinice :
  - $g_t$  – relativna gustoća na najnižoj temperaturi punjenja
  - $g_i$  – relativna gustoća punjenja na referentnoj temperaturi
  - $V$  – volumen spremnika
  - $U_{\max}$  – maksimalni dozvoljeni volumen

Maksimalni dozvoljeni volumen računa se prema izrazu:

$$U_{max} = 0,97 \frac{g_t}{g_i} \cdot V$$

➤ Veličine koje uzimamo za proračun maksimalnog volumena punjenja:

- $\rho_{-20/propan} = 554,94 \text{ kg/m}^3$
- $\rho_{-20/butan} = 621,5 \text{ kg/m}^3$
- $\rho_{40/propan} = 467,29 \text{ kg/m}^3$
- $\rho_{40/butan} = 554,63 \text{ kg/m}^3$
- $V = 10\ 000 \text{ l}$

$$g_i = 0,5 \cdot \rho_{-20/propan} + 0,5 \cdot \rho_{-20/butan} = 0,5 \cdot 554,94 + 0,5 \cdot 621,5 = 588,22 \text{ kg/m}^3$$

$$g_t = 0,5 \cdot \rho_{40/propan} + 0,5 \cdot \rho_{40/butan} = 0,5 \cdot 467,29 + 0,5 \cdot 554,63 = 510,96 \text{ kg/m}^3$$

Maksimalni dozvoljeni volumen :

$$U_{max} = 0,97 \frac{g_t}{g_i} \cdot V = 0,97 \frac{510,96}{588,22} \cdot 10\ 000 = 8426 \text{ l}$$

Masa punjenja UNP:

➤ Veličine koje uzimamo za proračun mase punjenja:

- gustoće ukapljenih plinova pri 15°C  
     propan:  $\rho'_{propan} = 502 \text{ kg/m}^3$   
     butan :  $\rho'_{butan} = 559 \text{ kg/m}^3$
- volumni udio plinova u smjesi;  
     propan:  $r_{propan} = 0,5$   
     butan :  $r_{butan} = 0,5$
- gustoća smjese  $\rho'$  u tekućem stanju pri 15°C  

$$\rho' = \rho'_{propan} \cdot r_{propan} + \rho'_{butan} \cdot r_{butan} = 502 \cdot 0,5 + 559 \cdot 0,5 = 530,5 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{punj} = U_{max} \cdot \rho' = 8,426 \cdot 530,5 = 4470 \text{ kg}$$

Maksimalni dozvoljeni volumen punjenja iznosi 8426 l a masa punjenja spremnika za UNP 4470 kg .

## 8. Proračun uške za transport

Uška za transport proračunava se prema točki 16.7 norme prEN 13445-3:1999.

➤ Simboli definicije i jedinice :

- $a_1$  [mm] – ekscentricitet opterećenja
- $a_2$  [mm] – udaljenost opterećenja od plašta
- $b_1$  [mm] – duljina uške za transport na spoju s plaštom
- $F_L$  [N] – lokalna sila na plaštu
- $F_{L,max}$  [N] - maksimalna dopuštena sila na plašt
- $W$  [N] – ukupna težina posude
- $\beta$  – kut između smjera sile i normale na plašt
- $D_{eq}$  [mm] – ekvivalentni proračunski promjer
- $v_1$  – omjer lokalnog membranskog naprezanja i savijanja
- $v_2$  – omjer ukupnog membranskog naprezanja i dozvoljenog savijanja
- $\sigma_{b,all}$  [MPa] – dozvoljeno savijanje plašta

➤ Veličine koje uzimamo za proračun uške za transport

- $D_{eq} = D_i = 1486 \text{ mm}$
- $e_a = 7 \text{ mm}$
- $P = 1,64 \text{ Mpa}$
- $b_1 = 360 \text{ mm}$
- $a_1 = b_1/2 - 60 = 360/2 - 72 = 108 \text{ mm}$
- $a_2 = 78 \text{ mm}$
- $f = 204,17 \text{ N/mm}^2$

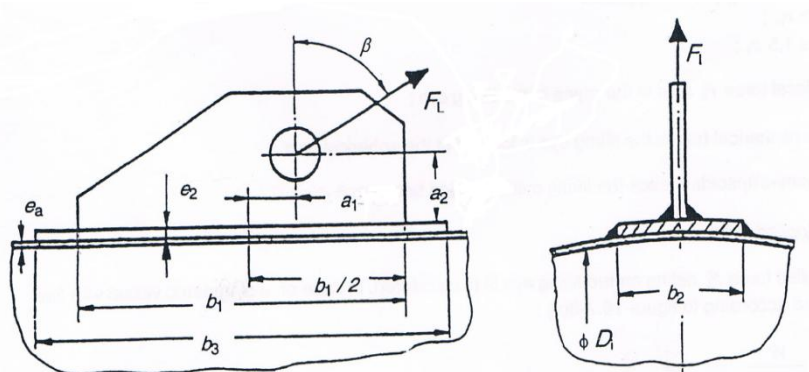


Figure 16.7-1 : Longitudinal lifting eye

Slika 10. Uzdužna uška za transport

➤ Uvjeti koji vrijede su:

- $e_n/D_{eq} \leq 0,05$   
 $7/1486 = 0,0047 \leq 0,05$
- Lokalna sila  $F_l$  djeluje u ravnini uške za transport

Slijedećim izrazima će se odrediti najveće dopušteno opterećenje pri podizanju spremnika. U našem slučaju odabrao sam postaviti ušku u longitudinalni smjer pa će vrijediti slijedeće oznake i relacije za određivanje faktora  $K_{13}$ ,  $K_{14}$ ,  $K_1$

Lokalna sila na ušku za transport računa se prema formuli:

$$F_l = \frac{W}{2\cos\beta} = \frac{102\,452,9}{2\cos 60^\circ} = 102\,452,9 \text{ N}$$

Vrijedi za slučaj dvije simetrično raspoređene uške za transport. Za svaku ušku imamo  $F_G/2$  te izračunamo  $F_l$ .

Ranije izračunata težina posude  $W$  iznosi:

$$W = F_G = (2 \cdot m_{pod} + V_{cil} \cdot \rho_{\check{c}} + V_{sprem} \cdot \rho_w) \cdot g$$

$$W = 102\,452,9 \text{ N}$$

Lokalna sila mora biti manja od maksimalne dopuštene lokalne sile na plašt:  $F_l \leq F_{lmax}$

$F_{lmax}$  računa se prema formuli:

$$F_{lmax} = \frac{\sigma_{b,all} \cdot e_a^2}{K_{13}|\cos\beta| + K_{14}|a_2 \cdot \sin\beta - a_1 \cdot \cos\beta|/b_1}$$

Za uzdužnu ušku za transport pomoćne vrijednosti  $\lambda$ ,  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $K_{13}$  i  $K_{14}$  računaju se iz točke 16.6.7 norme prEN 13445-3:1999.

Za uzdužni smjer primjenjuju se sljedeći parametri:

$$\lambda = \lambda_1 = \frac{b}{\sqrt{D_{eq} \cdot e_a}} = \frac{360}{\sqrt{1486 \cdot 7}} = 3,53$$

$$v_1 = \min(0,08\lambda_1; 0,2)$$

$$v_1 = 0,2$$

Obodno naprezanje cilindričnog plašta:

$$\sigma_m = \sigma_{my} = \frac{P \cdot D_{eq}}{2 \cdot e_a} = \frac{1,64 \cdot 1486}{2 \cdot 7} = 174 \text{ Mpa}$$



$$\nu_2 = \frac{\sigma_m}{K_2 \cdot e_a} = \frac{174}{1,25 \cdot 204,17} = 0,682$$

Pomoćne veličine:

$$K_{13} = \frac{1}{1,2 \cdot \sqrt{1 + 0,06 \cdot \lambda^2}} = \frac{1}{1,2 \cdot \sqrt{1 + 0,06 \cdot 3,53^2}} = 0,636063$$

$$K_{14} = \frac{1}{0,6 \cdot \sqrt{1 + 0,03 \cdot \lambda^2}} = \frac{1}{0,6 \cdot \sqrt{1 + 0,03 \cdot 3,53^2}} = 1,422$$

$$K_1 = \frac{1 - \nu_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \nu_1 \cdot \nu_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \nu_1 \cdot \nu_2\right)^2 + (1 - \nu_2^2) \cdot \nu_1^2}}$$

$$K_1 = \frac{1 - 0,682^2}{\left(\frac{1}{3} + 0,2 \cdot 0,682\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + 0,2 \cdot 0,682\right)^2 + (1 - 0,682^2) \cdot 0,2^2}} = 0,556$$

Maksimalno dozvoljeno naprezanje  $\sigma_{b,all}$ :

$$\sigma_{b,all} = K_1 \cdot K_2 \cdot f = 0,556 \cdot 1,25 \cdot 204,17 = 141,9 \text{ Mpa}$$

Maksimalna dopuštena sila na plašt  $F_{lmax}$ :

$$F_{lmax} = \frac{\sigma_{b,all} \cdot e_a^2}{K_{13} |\cos \beta| + K_{14} |a_2 \cdot \sin \beta - a_1 \cdot \cos \beta| / b_1}$$

$$F_{lmax} = \frac{141,9 \cdot 7^2}{0,63063 \cdot |\cos 60^\circ| + 1,422 |78 \cdot \sin 60^\circ - 108 \cdot \cos 60^\circ| / 360} = 127\,837,8 \text{ N}$$

$$F_l \leq F_{lmax}$$

$$102\,452,9 \text{ N} \leq 127\,837,8 \text{ N}$$

Lokalna sila  $F_l$  je manja od maksimalne dopuštene lokalne sile na plašt tj. zadovoljava

uvjet:  $F_l \leq F_{lmax}$

## 9. Proračun čvrstoće oslonaca spremnika

Proračun čvrstoće oslonaca spremnika prema točki 16.8.4 norme prEN13455-3:1999 nije potreban ako su zadovoljeni sljedeći uvjeti:

- ako nema vanjskog tlaka ( $P = 1,64 > 0; P \geq 0$ ).....zadovoljava
- ako je gustoća fluida  $\rho \leq 1000 \text{ kg/m}^3$  ( $\rho' = 530,5 \text{ kg/m}^3$ ).....zadovoljava
- ako je čvrstoća materijala plašta  $\sigma \geq 130 \text{ N/mm}^2$   
( $\sigma = 490 \text{ N/mm}^2$ ).....zadovoljava
- ako je faktor zavora  $v \geq 0.8$  ( $v=1$ ).....zadovoljava
- ako je  $a_1 \leq 0,5D_i$  ( $120 \text{ mm} \leq 743 \text{ mm}$ )  $a_1 \rightarrow$  na sklopnom crtežu.....zadovoljava
- ako za širinu oslonca uzmemo veću od proračunom dobivene  
 $b_1 \geq 1,1\sqrt{D_i \cdot e_n}$  ( $240 \text{ mm} \geq 1,1\sqrt{1486 \cdot 7} = 112,18 \text{ mm}$ ).....zadovoljava

Zadovoljavanjem uvjeta izbjegli smo provođenje naknadnog proračuna te smo pravilno odabrali dimenzije oslonaca

## **10. Tlačna proba nadzemnog spremnika za UNP kapaciteta 10 m<sup>3</sup>**

Tlačna proba ovog spremnika provodi se poslije završene izrade hidrostatskim ispitivanjem spremnika. Ovo ispitivanje mora se obaviti uz prisutnost inspektora Inspektorata posuda pod tlakom (IPT). Njemu treba predložiti svu tehničku dokumentaciju za posudu. Ispitivanju prisustvuju predstavnici proizvođača spremnika i investitora.

Izvođač hidrostatske tlačne probe dužan je da izradi “Postupak za izvođenje tlačne probe” i da bude odobren od investitora odnosno Inspektorata za posude pod tlakom (skica spremnika, blindiranje, priključci na pumpu, manometri, odzračivnje, drenaža, podizanje tlaka, kvaliteta vode, priključak za punjenje, pražnjenje i dr.).

Ispitni tlak je  $PT=23,5$  bar a medij za ispitivanje hladna voda. U zoni hidrostatskog ispitivanja smije biti prisutno samo osoblje odgovorno za provođenje tlačne probe, te treba biti vidljivo označen ispitni tlak, datum i sat (početak i kraj ispitivanja).

### **10.1 Priprema za ispitivanje**

Prije punjenja spremnika vodom potrebno je očistiti unutarnju površinu i sve elemente koji nisu učvršćeni sigurno učvrstiti ili iznijeti iz spremnika. Vanjske površine spremnika moraju se detaljno očistiti od korozije i potpuno osušiti. Pri ispitivanju spremnik treba postaviti tako da je moguće potpuno pregledati sve elemente, te da je omogućeno punjenje i pražnjenje na najnižem tlaku, a ispuštanje zraka na najvišem mjestu spremnika.

Pregledu spremnika i postupku ispitivanja može pristupiti kada su završeni svi zavarivački radovi i kontrole. Na najvišim točkama spremnika treba predvidjeti odzračne ventile (navojne kape), da bi se odstranili eventualni prostori sa zaostalim zrakom (zračni jastuci) kod punjenja spremnika. Prije primjene treba pregledati ispitnu opremu, da bi se provjerila njena nepropusnost. Pored pumpi (kompresora), kojima se postiže ispitni tlak tu spadaju još manometri za mjerenje ispitnog tlaka i sigurnosni ventil za zaštitu od prekoračenja ispitnog tlaka (ispitivanje plinom – pneumatska proba). Spremnik treba biti pravilno oslonjen da ne dođe do nepredviđenih naprezanja uslijed težine vode.

## 10.2 Manometri za mjerenje povećanja tlaka u spremniku

Povećanje tlaka u spremniku prati se i mjeri pomoću dva manometra, od kojih je jedan radni, a drugi na osnovu certifikata (atesta) o umjeravanju (baždarenju) kontrolni.

Raspon skale manometra koji se upotrebljava kod tlačne probe treba po mogućnosti imati raspon mjerenja približno dvostruko veći od ispitnog tlaka  $PT$  ( $2 \times 23,5=47$  bar), te ne smije biti manji od  $1,5 \times PT$  (35,25 bar) niti veći od  $3 \times PT$  (70,5 bar).

Manometar treba postaviti s odgovarajućim ventilima na gornji dio spremnika, po mogućnosti na mjesto koje je vidljivo s mjesta odakle se upravlja pumpom (s manometrom) ili ventilom za povećanje tlaka.

## 10.3 Postupak tlačne probe

Voda kojom se ispituje treba biti čista, uz eventualno dodavanje inhibitora za sprečavanje korozije. Temperatura vode ne smije biti viša od 50 niti niža od 10°C. Tokom tlačne probe kontrolirati temperaturu na plaštu spremnika kao i temperaturu okoline (temperatura okoline 5°C i viša).

Nakon punjenja vodom, treba pumpom za tlačanje postići ispitni tlak i održavati ga za vrijeme pregleda zavarenih spojeva spremnika, te plašta i podnica posude najmanje 2 sata. Podizanje tlaka vršiti tempom ne bržim od 1 bar u minuti.

## 10.4 Ocjena rezultata ispitivanja

Rezultati ispitivanja zadovoljavaju ako se prilikom pregleda ne pokažu:

- znakovi razaranja
- trajne deformacije prilikom mjerenja
- curenje, prokapljivanje ili rošenje na zavarenim spojevima ili na osnovnom materijalu

Neposredno po završenom ispitivanju, zapisnikom se utvrđuju rezultati ispitivanja. Ispitivanje se smatra završenim kada je izvršen pregled i kada se tlak u spremniku snizi do tlaka okoline.

## **10.5 Sušenje**

Voda se nakon hidrostatske probe kompletno ispušta postepeno smanjujući tlak u spremniku najprije otvarajući odzračni ventil, a potom drenažni ventil. Pri tom treba paziti da se ne pojavi podtlak u spremniku. Neposredno nakon toga spremnik treba temeljito osušiti i napuniti dušikom i držati pod malim tlakom.

## **10.6 Dokumentacija hidrostatskog ispitivanja**

Neposredno po završenom ispitivanju ovlašteni predstavnik izvođača hidrostatske probe ispunjava obrazac "Izvešće o tlačnom ispitivanju sa slijedećim podacima: ugovor i serijski broj, crtež i broj izmjene, vrsta ispitivanja, ispitni medij, temperatura ispitnog medija, ispitni tlak, radni tlak, temperatura stijenke, datum punjenja, trajanje ispitivanja, datum ispitivanja, predmet ispitivanja, rezultat ispitivanja (nalaz), serijski broj manometra, područje manometra i klasa točnosti, mjesto mjerenja.

Izvešće o tlačnom ispitivanju sastavlja se neposredno po završenom ispitivanju, a potvrđuju ga potpisom, inspektor posuda pod tlakom, izvođač radova, nadzorni inženjer i predstavnik investitora.

## **11. Upute za rad i korištenje**

Nadzemni spremnik za UNP je projektiran, izrađen, ispitan i testiran u skladnosti sa Pravilnikom o tlačnoj opremi i Pravilniku o ukapljenom naftnom plinu. Proizvođač garantira kako standardi i norme upotrebljeni prilikom projektiranja osiguravaju pouzdanu upotrebu opreme pri projektnim i radnim uvjetima navedenim u listi mehaničkih podataka kao i odgovarajućem mehaničkom proračunu.

### **11.1 Uputstva za transport**

Spremnik treba biti transportiran u horizontalnom položaju oslonjen na čelična sedla. Mase i dimenzije opreme, alat za podupiranje, oznaka težišta posude, orijentacija i oprema za podizanje kao i instrukcije za daljnje postupanje bit će navedene u odgovarajućem crtežu za transport. Odgovornost prijevoznika opreme je da osigura adekvatno učvršćenje prilikom prijevoza za vozilo kako se oprema ne bi oštetila.

### **11.2 Uputstva za podizanje**

Kako bi se izbjegle bilo kakve deformacije ili trajna oštećenja, oprema mora biti podizana pomoću lanaca/užadi/traka koji su zakvačeni ili usidreni na pozicijama označenim na crtežu za transport. Provjera podataka o masama navedenim na važećem crtežu za transport, te dopuštenom opterećenju i mogućnosti nošenja lanaca/užadi/traka pomoću kojih se podiže oprema odgovornost je osoblja koje je uključeno u transport i podizanje opreme.

### **11.3 Upute za montažu i postavljanje**

Montažu spremnika, kao i ostale radnje koje se odnose na opremu za UNP, prema pravilniku o UNP, Zakona zaštite na radu i ostalim odredbama Tehničke regulative vezane za rad plinske instalacije, mogu obavljati samo ovlaštene izvođačke organizacije, za čiju djelatnost imaju odobrenja za rad.

Nadzemni mali spremnik UNP-a postavlja se na otvoren prostor ili prostor pokriven laganim krovom. Postavlja se na predviđenu lokaciju prema odredbama Pravilnika o UNP-u, Članak 15., 16., 17. Spremnik se postavlja na betonsku podlogu koja je statički dimenzionirana da podnese ispitne i eksploatacijske uvjete rada plinskog gospodarstva. Nakon montaže potrebno je provjeriti geometriju položaja. Nakon što su obavljene radnje postavljanja potrebno je zapisnički konstatirati da su montaža i postavljanje izvršeni prema Pravilniku o UNP članci 15., 16., 17.

Prema Članku 14. Pravilnika o UNP-u korisnik malih spremnika dužan osigurati mjesto punjenja spremnika i cjelovito provođenje propisanih mjera zaštite od požara i eksplozija o čemu mora posjedovati dokumentaciju.

#### **11.4 Upute za punjenje i eksploataciju**

Spremnik se s UNP-om puni pomoću crpke tako da se fleksibilno crijevo iz cisterne priključi na priključak ventila za punjenje P1 koji je smješten pod zaštitnom kapom. Prije početka punjenja potrebno je izjednačiti električni potencijal autocisterne i spremnika. Punjenje se obavlja prema uvjetima i propisima o sigurnosti Pravilnika o UNP-u članak 23, Zakona zaštite na radu i Zakona zaštite od požara, kao i posebnih pravila koje propisuje distributer plina. Spremnik se smije upotrijebiti samo za predviđeni radni medij tj. za ukapljeni naftni plin. Puštanje radnog medija prema trošilima ostvaruje se preko priključka za izuzimanje tekuće faze P2. Sustav cjevovoda ne smije prenositi termičke dilatacije, niti druga mehanička naprezanja na sustav priključaka. U tijeku eksploatacije priključci moraju biti zaštićeni od neovlaštenog otvaranja putem lokota. Cjevovod unutar postrojenja za UNP mora biti pripremljen prema Pravilniku za plinske instalacije, Pravilniku O UNP, što znači da je prije toga odobren od strane ovlaštenog tijela.

#### **11.5 Upute za održavanje**

Spremnik za UNP potrebno je redovito održavati, a to se posebno odnosi na redovito i periodično ispitivanje dijelova sustava. Popravak i zamjenu neispravne opreme može izvoditi samo ovlašteno osoblje. Sigurnosni ventil mora se održavati tako da je uvijek osigurano njegovo pouzdano djelovanje. O kontroli i podešavanju sigurnosnog ventila mora se voditi evidencija.

#### **11.6 Sigurnosne upute i mogući uzroci opasnosti**

Potrebno je osigurati zaštitu protiv iznenadnog povišenja unutarnjeg tlaka opreme iznad maksimalno dopuštenog. Za tu svrhu služi sigurnosni ventil koji je proračunat za maksimalnu količinu medija koja se u posudi može pojaviti. Sigurnosni ventil je proračunat i za slučaj požara tako da može propustiti veću količinu plina i na taj način spriječiti porast tlaka. Potrebno je paziti i na dozvoljeno maksimalno punjenje spremnika za UNP. Proizvođač opreme nije odgovoran za opremu u slučaju ako se ona koristi nenamjenski, te ako se ne poštuju projektni parametri kao što su tlak, temperatura, opterećenja na priključke, opterećenja vjetrom. U tom slučaju korisnik preuzima potpunu odgovornost za bilo kakvu nesreću koja se može dogoditi.

**12. Crteži nadzemnog spremnika za UNP  $V= 10\text{ m}^3$  u programu ProEngineer**



Crtež 1. Sklop nadzemnog spremnik za UNP

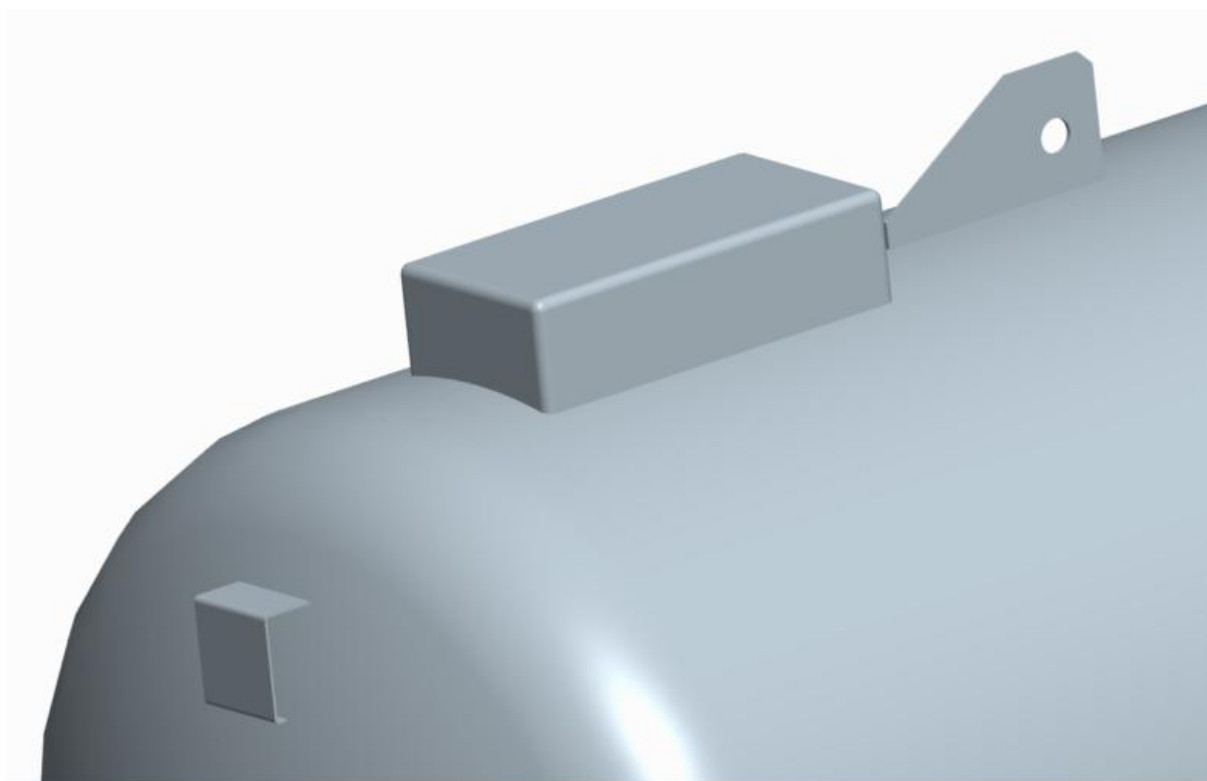


Crtež 2 .Nadzemni spremnik za UNP –pogled desno

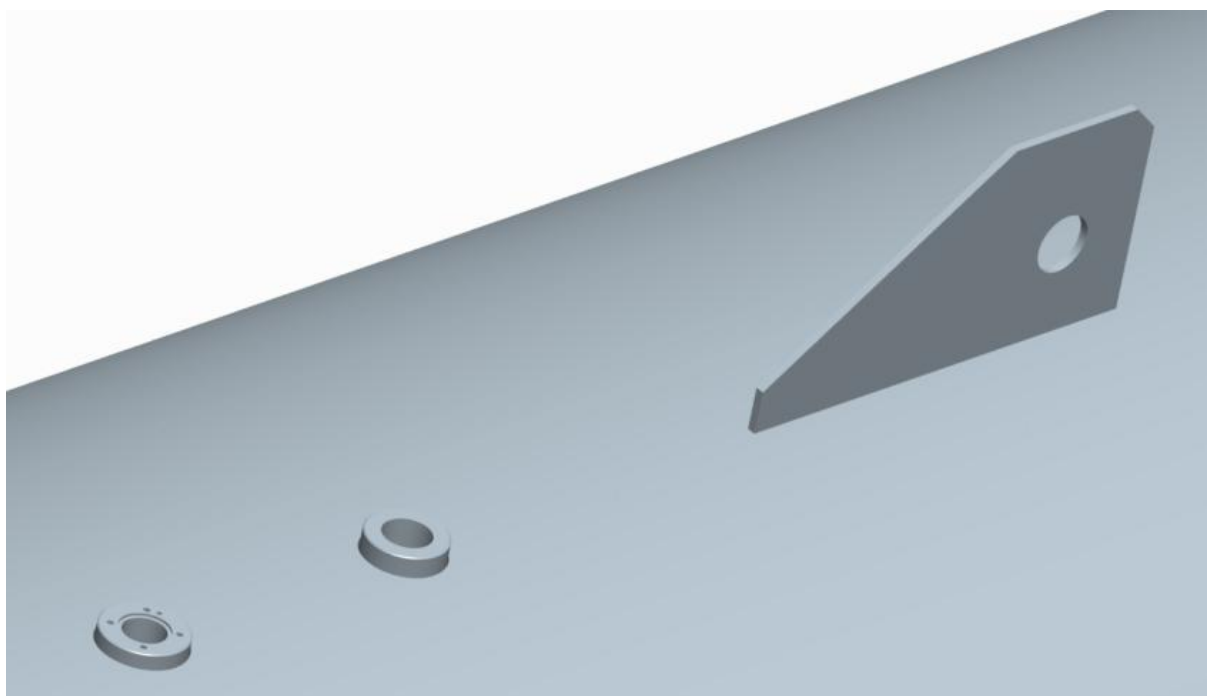




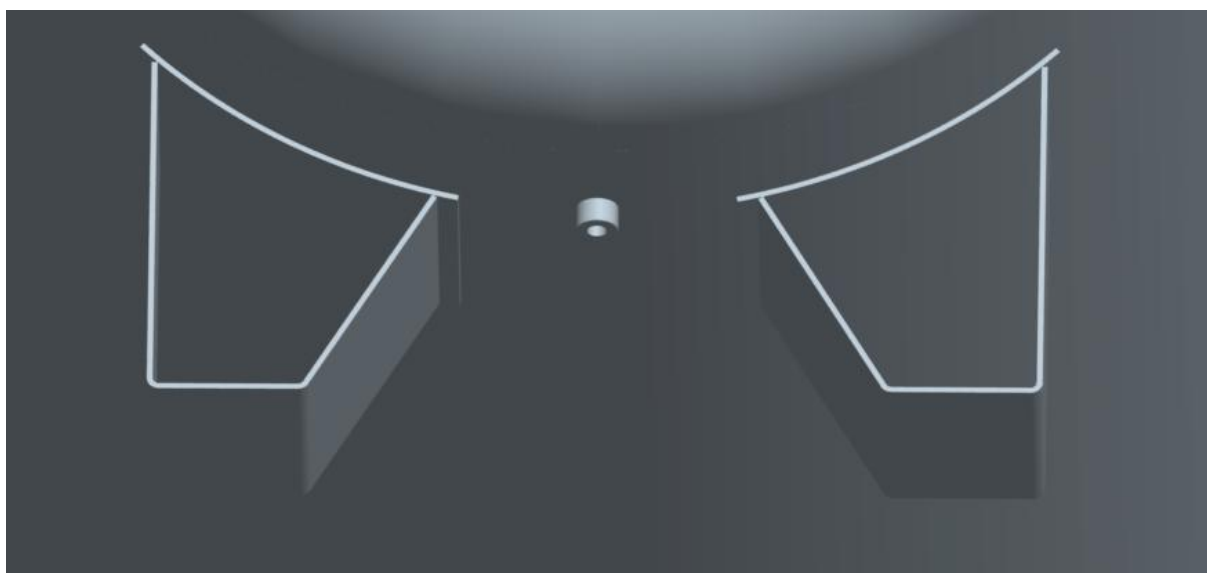
Crtež 3. Nadzemni spremnik za UNP –pogled lijevo



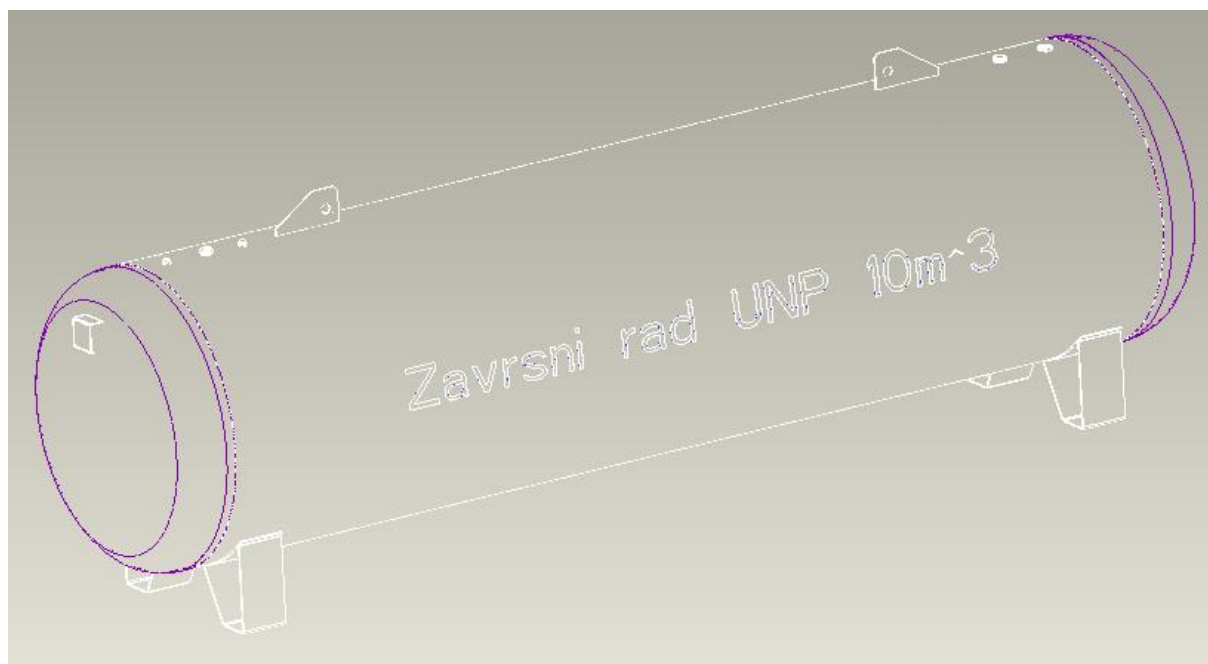
Crtež 4 .Pogled dijela spremnika za UNP



Crtež 5. Pogled odozgo spremnika za UNP



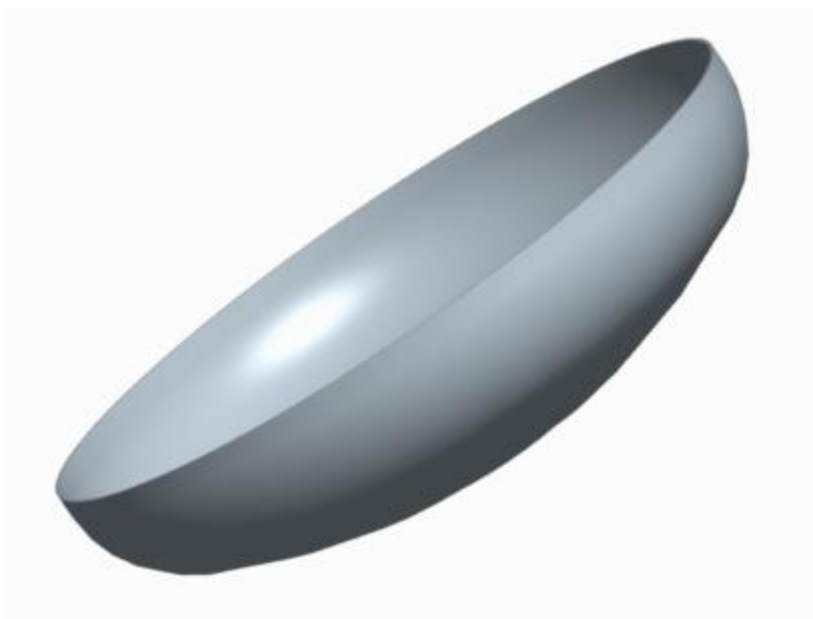
Crtež 6. Pogled odozdo spremnika za UNP



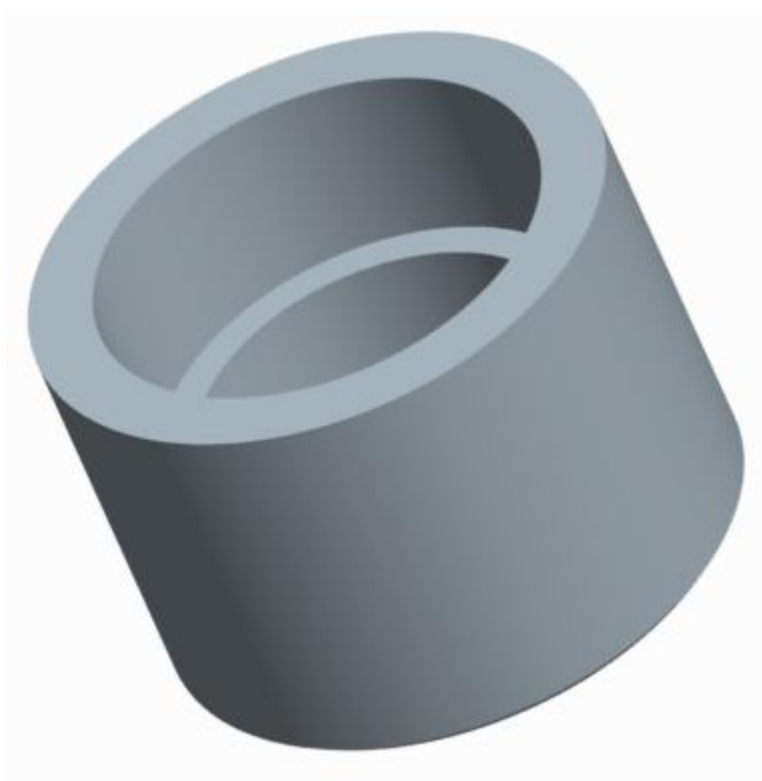
Crtež 7. Žičani model spremnika za UNP



Crtež 8. Cilindrični plašt



Crtež 9.Podnica



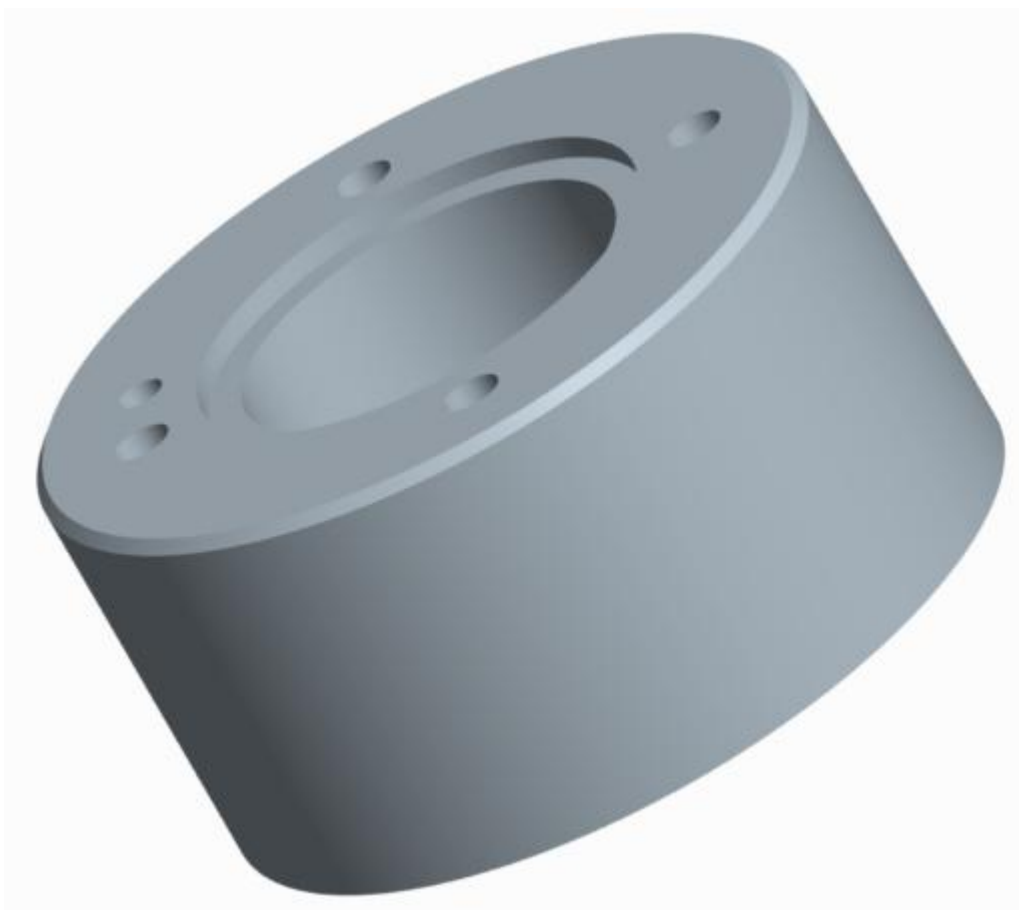
Crtež 10 .Priključak ventila za punjenje



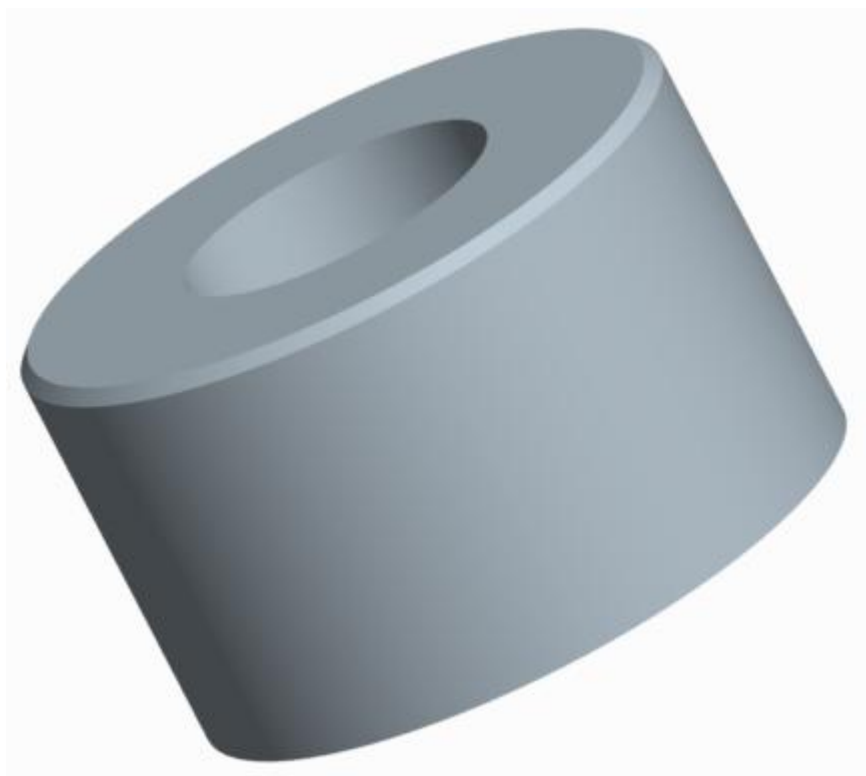
Crtež 11 .Priključak ventila za izuzimanje tekuće faze



Crtež 12 .Priključak za sigurnosni ventil



Crtež 13 .Priključak za mjerenje nivoa tekućine



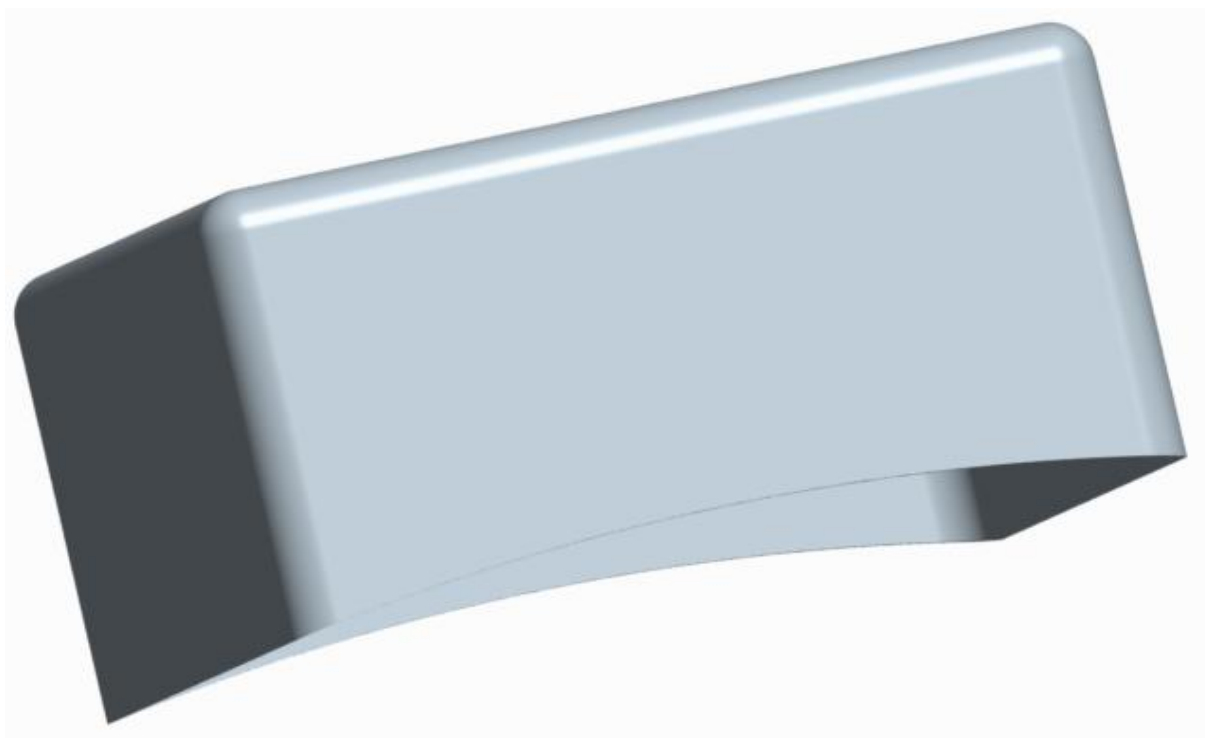
Crtež 14.Priključak za čišćenje nečistoća



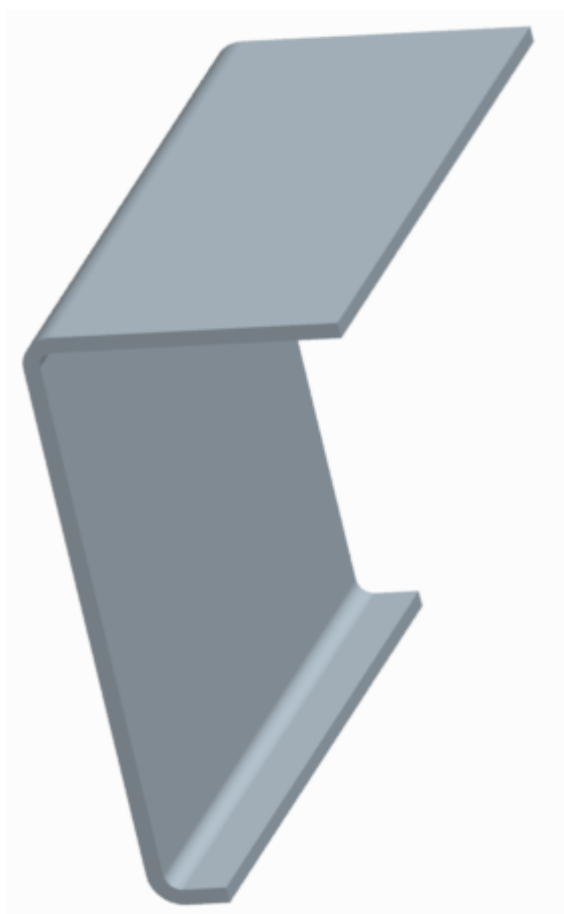
Crtež 15.Nosiva uška spremnika



Crtež 16 .Oslonac spremnika



Crtež 17 .Zaštitna kapa- ovdje uzeo drugačiji model nego u AUTCAD crtežima



Crtež 18 .Nosac natpisne ploče



## **Zaključak**

U završnom radu izrađen je mehanički proračun i konstrukcija nadzemnog spremnika za ukapljeni naftni plin od čelika P 355 NL1 kapaciteta  $10\text{ m}^3$ . Spremnik je konstruiran prema normi EN 12542:2002 u skladnosti sa Pravilnikom o tlačnoj opremi i Pravilnikom o ukapljenom naftnom plinu. Proizvođač koji izrađuje spremnik treba garantirati kako standardi i norme upotrebljeni prilikom projektiranja osiguravaju pouzdanu upotrebu opreme pri projektnim i radnim uvjetima navedenim u listi mehaničkih podataka kao i u odgovarajućem mehaničkom proračunu.

Spremnik se sastoji od cilindričnog plašta i dvije duboke podnice, a oslonjen je na zavareni nogar. Na spremnik su zavareni svi priključci na koje se postavlja armatura za rad, eksploataciju, sigurnosna armatura i mjerna oprema. Spremnik je svrstan u IV kategoriju posuda pod tlakom prema dijagramu 1. Dodatka II. Pravilnika o tlačnoj opremi te je izabran modul H1 modula za ocjenu sukladnosti.

U radu sam izradio i proračun debljine stijenke spremnika za UNP prema starim normama HRN M.E2.253 ,HRN M.E2.252 te njihovu usporedbu s normom EN 12542:2002 prema kojoj je spremnik konstruiran. Isto tako sam u prvom dijelu rada napravio podjelu vrsta i klasa posuda pod tlakom prema HRN M.E2.150 i HRN M.E2.151 kako bi mogli napraviti pregled i usporedbu s usvojenim europskim smjernicama za kategorizaciju posuda pod tlakom tj. Pravilnikom o tlačnoj opremi. Osim nacрта spremnika u Autocadu konstruirao sam i crteže u ProEngineeru kako bi i imali točnu predodžbu 3D dimenzije spremnika i svakog njegovog dijela.

Pri projektiranju, izradi i ispitivanju spremnika za UNP treba sagledati rješenja sa tehničke i ekonomske strane no istodobno u svakom trenutku treba se pridržavati i raditi konstrukcijska rješenja prema već navedenim pravilnicima i normama koji su za to predviđeni.

## Popis literature:

1. Strelec: Plinarski priručnik
2. Topličanec, Buljak: Plinski uređaji u praksi//Projektiranje, izvođenje i održavanje
3. Pravilnik o tlačnoj opremi// Narodne novine.br.158/2003 ,kategorizacija i izbor modula posuda pod tlakom.
4. Pravilnik o ukapljenom naftnom plinu// Narodne novine,br.117//2007
5. Zbirka naputaka iz područja opreme pod tlakom:2009,Ministarstvo gospodarstva,rada i poduzetništva
6. S. Švaić:Monografija „oprema pod tlakom“,2008,
7. HRN EN 12542:2002,Proračun nadzemnih i čeličnih spremnika,Proračun priključaka na spremniku
8. EN 13445-3:1999, Proračun nosive uške za transport i provjera debljine stijenke spremnika u uvjetima vakuma
9. HRN M.E2.253 ,Proračun debljine stijenke cilindričnog plašta
10. HRN M.E2.252, Proračun debljine stijenke podnica
11. HRN M.E2.150, Vrsta posude pod tlakom
12. HRN M.E2.151, Klasa posude pod tlakom







